心理科学进展 2023, Vol. 31, No. 7, 1–23
Advances in Psychological Science

https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2023.001

“忽冷忽热”的杏仁核：与攻击相关的重要核团*

赵 辉 张亚冉 肖玉琴 张 卓 杨 波

(中国政法大学社会学院, 北京 102249)

摘 要 攻击是有意对他人造成直接伤害的行为, 可以分为反应性攻击和主动性攻击。攻击行为的发生有其神经生理基础, 作为情绪加工和学习的关键脑区, 杏仁核与攻击有着密切的关联。战斗−逃跑机制模型、暴力抑制机制模型和恐惧功能障碍假说强调了杏仁核对于攻击的重要性。表现出攻击或暴力行为的群体存在杏仁核的结构缺陷和功能障碍, 其中功能障碍有两种相反的异常表现：在具有反应性攻击表现的高危人群中, 杏仁核对威胁性刺激的反应增强(“热”反应); 而以主动性攻击为主的人群如带有冷酷无情特质的精神病态人群, 会表现出对威胁性刺激以及他人痛苦情绪线索的杏仁核反应减弱, 以及在恐惧条件学习和道德决策的过程中杏仁核的激活不足的现象(“冷”反应)。这些功能障碍损害了个体在威胁反应、共情能力、惩罚回避以及道德决策等方面的正常水平。未来研究需人群研究和过程研究并举, 关注杏仁核子结构的功能, 探究攻击的神经网络基础, 并探索有效的暴力防治干预手段。

关键词 杏仁核, 反应性攻击, 主动性攻击, 精神病态
分类号 B845

1 引言

攻击是指有意对他人造成直接伤害的任何行为(Berkowitz, 1993), 暴力行为是其极端形式。随着认知神经科学的发展, 神经成像技术越来越多地用于研究攻击与暴力。国外的相关研究或者直接选取暴力犯作为研究对象, 目前多聚焦常表现出严重暴力行为且再犯率极高的精神病态罪犯; 或者选取具有攻击或暴力行为表现的精神障碍人群, 如反社会人格障碍(Antisocial Personality Disorder, ASPD)、品行障碍(Conduct Disorder, CD)、对立违抗障碍(Oppositional Defiant Disorder, ODD)、间歇性爆发性障碍(Intermittent Explosive Disorder, IED)、边缘型人格障碍(Borderline Personality Disorder, BPD)、双相障碍(Bipolar Disorder, BD)、精神分裂症(schizophrenia)等。这些研究旨在回答这样一个问题：表现出攻击或暴力行为的个体是否存在脑结构或脑功能的异常？是哪些脑区的异常？

有攻击或暴力行为表现的个体存在威胁反应异常、共情能力缺失、惩罚回避缺陷以及道德决策受损等问题(Decety, 2020; Dugré et al., 2020), 而这些问题都可能与杏仁核的活动有关, 杏仁核的结构或功能异常与攻击行为的发生有着密切的联系(Cupaioli et al., 2021; Farah et al., 2018; Gouveia et al., 2019)。需要注意的是, 攻击有反应性攻击(reactive aggression)和主动性攻击(proactive aggression)之分(Bartol & Bartol, 2021; Feshbach, 1964; Rosell & Siever, 2015)。这是目前有关攻击的经典分类, 二者在诱发因素、动机特征、情绪特征等诸多层面上均存在差异(杨波, 2015)。反应性攻击主要表现为爆发性的、不受控制的攻击反应, 通常在挑衅、挫败或威胁等刺激之后发生, 往往伴随着强烈的情绪唤起和自主神经反应, 主要目的是对威胁等刺激进行自我防御, 或者破坏挫败的来源, 也叫做敌意性攻击或冲动性攻击。而主动性攻击主要表现为有目的、有计划的攻击行为, 与受挫或威胁等外界刺激无关, 通常不伴随强烈的情绪或自主神经反应, 主要目的是获取某个目标(如他

收稿日期：2022-11-30
* 中国政法大学青年教师“犯罪心理学学术创新团队”资助项目(21CXTD04)、中国政法大学校级交叉学科建设项目“神经法学” (22ZFJCXK03)。
通信作者：杨波, E-mail: zsdybo@sina.com

人财物)或优势地位，也叫做工具性攻击或预谋性攻击(Rosell & Siever, 2015)。目前已有研究者对两类攻击的神经生理基础进行了综述，都强调了杏仁核的重要性(Blair, 2016; Rosell & Siever, 2015)。

对杏仁核与攻击行为之间的关联路径进行梳理，可以通过聚焦关键脑区来理解攻击行为的发生机理，并为相应的神经生物学干预提供靶点依据。因此，本文将介绍与攻击或暴力相关的、涉及杏仁核功能的理论模型，并对暴力罪犯或有攻击性的高危人群所表现出来的杏仁核的结构或功能异常进行回顾及讨论，拟厘清杏仁核如何对个体的攻击行为发挥作用，并在此基础上对未来的研究进行展望。

2 攻击或暴力相关的理论模型中杏仁核的作用

杏仁核是边缘系统的皮质下中枢，附着在海马的末端，是情绪加工和学习的关键脑区(Gouveia et al., 2019)。与攻击或暴力相关的模型，如战斗–逃跑机制(fight-flight mechanisms)、暴力抑制机制(violence inhibition mechanism, VIM)和恐惧功能障碍假说(fear dysfunction hypothesis)都涉及到了杏仁核的重要作用。其中，在战斗–逃跑机制模型中，杏仁核包含在调控反应性攻击的神经回路中，参与攻击的发起过程(Blair, 2016)；在 VIM 模型中，杏仁核参与对他人的情绪感知过程，继而影响攻击的抑制过程(Blair, 1995)；而恐惧功能障碍假说强调杏仁核对惩罚后果的不敏感，更多地与精神病态的主动性攻击相关联(Lykken, 1957)。

2.1 战斗–逃跑机制模型

“战斗–逃跑”这一术语是由 Cannon (1929)提出来的，可以看作是个体对环境中的威胁刺激进行情绪和认知评估后所做出的反应。通过对动物的观察发现，动物对外界的威胁存在升级反应，远距离威胁会引发寒颤(害怕)，再靠近一些的威胁会引起逃跑反应，威胁近在眼前时会导致反应性攻击(Blanchard et al., 1977)。哺乳类动物的研究指出，这种对威胁的升级反应是由一个基本威胁回路控制的，从内侧杏仁核开始，通过纹状体终端到达内侧下丘脑，再到导水管周围灰质(periaqueductal gray, PAG)的背侧部分(Lin et al., 2011)。其中，杏仁核主要从功能皮层区域收集感觉信息(视觉、听觉、嗅觉)，在此基础上形成对威胁的检测(Carli & Farabollini, 2022)，信息传导到下丘脑和 PAG 之后，二者的激活都会引发防御反应(僵住、逃跑、攻击)，但它们在防御行为的控制中起着不同的作用，前者负责编码驱动防御反应所必需的内部状态，后者则充当运动模式的发起者(Esteban Masferrer et al., 2020)。人类的功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究表明，威胁越靠近，上述回路中的杏仁核、下丘脑和 PAG 的激活越强(Coker-Appiah et al., 2013; Mobbs et al., 2010)；并且挫折刺激(Yu et al., 2014)和挑衅情境(Corradi-Dell'Acqua et al., 2013)也会引发上述脑区的活动。因此，Blair (2016)在其综述中指出，基本威胁回路可以调控人类的反应性攻击，包括面临威胁、遭遇挫折以及受到挑衅的情境下导致的攻击行为。

2.2 暴力抑制机制模型

暴力抑制机制是由 Blair (1995)提出来的，从道德发展的角度来解释精神病态暴力行为的成因，强调共情对道德社会化的重要性，主要关注杏仁核在其中发挥的作用。这一模型是基于生态学家在动物研究中的发现，即当同类发出投降或屈服的信号时，动物会抑制自身的攻击行为(Eibl-Eibesfeldt, 1970)，如当狗被比自己强壮的同类攻击时，露出喉咙的举动会使对方停止攻击。人类具有类似的机制，并在幼儿期就已有发展。当儿童为保护玩具不被他人抢夺而哭泣时，对方会停止抢玩具的行为(Camras, 1977)，共情在这个过程中发挥着重要的作用。共情是个体感知或想象其他个体的情感，并产生与之同形的情感体验状态的心理过程(岳童，黄希庭, 2016)。在社交互动中，悲伤或恐惧的面部表情(痛苦线索)通常会被认为是一种屈服反应，此时通过引发共情 VIM 会被激活，从而出现增强的自主神经反应和行为抑制。杏仁核是负责情绪识别的重要脑区(Xu et al., 2021)，杏仁核的功能缺陷会影响个体对他人痛苦情绪线索的感知与加工(Adolphs et al., 2005; Bird & Viding, 2014)，如果不能接收到他人的屈服信号，便没有了产生共情反应和激活 VIM 的基础。而且 VIM 的形成也是一个学习的过程，通过对监护人行为的观察可以习得不要做出会导致他人痛苦的行为以及他人屈服时要停止攻击，但对他人悲伤或恐惧情绪的识别缺陷会干扰个体在攻击行为与他人痛苦之间形成联结(Blair, 2019)，从而不

能学会要避免出现伤害他人的行为，造成道德社会化失败的后果。

2.3　恐惧功能障碍假说

恐惧功能障碍假说可以被认为是关于精神病态发展的第一个认知神经科学的观点(Blair, 2005; Lykken, 1957)。精神病态作为一种严重的人格障碍，主要特征为自我中心、欺骗、善于操控、冲动、冷酷无情、缺乏罪责感等，分为人际−情感维度(冷酷无情、操控他人等)和冲动−反社会维度(缺乏计划、刺激寻求等)，是与攻击和暴力关联最为紧密的人格障碍(王绍坤, 杨波, 2011)。该假说认为精神病态个体的极端暴力行为是由于调节恐惧反应的神经生理系统出现了问题(Lykken, 1957)。个体的道德社会化是通过使用惩罚来实现的(Mieth et al., 2021)，健康个体通常会对惩罚感到恐惧，出于忌惮违法犯罪的惩罚后果会主动规范自己的行为。但精神病态个体对惩罚的敏感性较低，恐惧和惩罚之间的联结较弱，与健康个体相比更有可能出现违反社会规范的行为(Osumi, 2019)。Patrick (1994)首次提出杏仁核功能紊乱可能与精神病态的发展相关，尤其是恐惧条件反应的形成，由此导致的学习缺陷会使得个体不能将恐惧体验与导致惩罚的行为联系起来。由于较少体验到恐惧，所以精神病态个体的行为通常会表现出无畏的特点(López et al., 2013)，且在决策时不计后果。

3　杏仁核的结构缺陷与攻击

目前大多数脑结构成像的研究结果支持攻击人群的杏仁核存在结构缺陷。首先，问题青少年的冷酷无情(callous-unemotional trait, CU)水平与其双侧杏仁核的体积减少有关，并且 CU 水平在杏仁核体积减小与外化问题行为严重程度之间起中介作用(Cardinale et al., 2019)。CD 青少年也呈现出杏仁核延伸至脑岛的结构异常(Fairchild et al., 2011; Rogers & de Brito, 2016)。但也有研究在 CD 儿童中并未发现杏仁核的结构缺陷(Jiang et al., 2021)，这可能与该研究采用的是基于表面的形态学分析(surface-based morphometry, SBM)技术，将表面积作为检测指标，而非较为常用的基于体素的形态学分析(voxel-based morphometry, VBM)技术有关。但另一方面这一结果也提示我们重新思考大脑的结构缺陷和个体的问题行为孰因孰果的问题，尤其青少年仍处于神经发育的阶段，对于 CD 儿童开展追踪研究有助于解答经常卷入违法事件的经历是否会影响神经发育状况这一问题。其次，在成人群体中，Johanson 等人(2020)对 118 项神经影像学研究进行了系统综述，结果表明杏仁核的灰质体积减少以及形态异常与精神病态有关。其中，Ermer 等人(2012)发现，高精神病态特质罪犯的右侧杏仁核体积出现 20%~21%的显著减少。Yang 等人(2010)还指出，杏仁核的结构缺陷多出现在不成功的精神病态群体中，即精神病态检核表(psychopathy checklist-revised, PCL-R)总分在 23 分及以上并因其犯罪行为而被起诉的人。另外，在女性被试的相关研究中也发现高攻击水平组的杏仁核体积减少了 16%~18%，并且杏仁核体积与攻击特质呈显著负相关，而与其他临床测量如焦虑、抑郁水平等无关(Matthies et al., 2012)。

以上横断研究提供了杏仁核的结构缺陷可能与攻击有关的证据，但纵向研究可以更进一步说明杏仁核体积变化对个体攻击水平的影响。Pardini 等人(2014)在 4 个时间点(被试平均年龄 7.5~11 岁童年期、16 岁青春期、26 岁成人期、29 岁)对 56 名被试进行了攻击水平的评估，并在第三个时间点对被试进行了脑结构成像扫描。结果发现，左侧和右侧杏仁核的体积都与童年期、青春期和成人期的攻击水平呈负相关；对被试的追踪调查显示，扫描后 3 年内有暴力行为的被试其杏仁核体积较小。因此，研究者提出杏仁核的结构异常可以作为严重的、持续的攻击行为的潜在预测指标。

杏仁核的结构缺陷与个体的攻击性之间存在关联，这可能是杏仁核的结构异常导致其功能不能正常发挥的结果。Bobes 等人(2013)通过攻击人群结构像和功能像的联合分析对杏仁核的结构和功能之间的关系进行了考察。该研究根据被试在两类攻击量表中反应性攻击的得分(8 分以上)筛选出暴力组和非暴力组，采用 VBM 技术测量了杏仁核的灰质密度，并通过 fMRI 采集了个体对恐惧和中性表情的杏仁核反应，以杏仁核对两种表情的反应强度之差(fearful/neutral difference, F/N-差值)来表征杏仁核的激活程度，较小的 F/N-差值意味着对中性面孔的反应增强。结果发现，所有被试杏仁核的 F/N-差值与反应性攻击有显著

的负相关。暴力组左侧背侧杏仁核的灰质密度以及 F/N-差值均小于非暴力组，相关分析也表明暴力组被试左侧杏仁核的灰质密度与 F/N-差值存在相关，说明暴力组的杏仁核对于中性的社交信号存在过度反应，且杏仁核的结构异常可能是导致该核团产生功能障碍的生理解剖基础。

4 杏仁核的功能障碍与攻击

4.1 杏仁核的"热"反应

反应性攻击通常是个体在面对挑衅、挫败或威胁时发生的爆发性的防御反应，可能原因是出于对威胁线索的过度警觉(赵辉 等, 2019)以及受到挑衅时出现过激反应(da Cunha-Bang et al., 2017)。反应性攻击的个体面对威胁或挑衅会出现基本威胁回路(其中包含杏仁核)反应增强的现象(Bertsch et al., 2020)，即为"热"反应。

现实生活中，他人的愤怒情绪预示着潜在的被攻击风险，因此对于个体来说是一种威胁性信息，而攻击性群体存在对社会情绪信息的感知或加工异常(Baskak et al., 2019)。冲动性暴力犯对于愤怒表情最为敏感且识别正确率最高(赵辉 等, 2019)。IED 个体的显著特征表现为对威胁或挑衅会表现出过度的反应性攻击，同样存在对愤怒面孔的杏仁核反应显著高于对照组，且激活强度与被试过去的攻击行为史呈正相关(Mccloskey et al., 2016)。一项以女性为被试的研究发现，对于反社会语义线索的内隐注意可以预测个体的攻击性水平，且杏仁核对于愤怒面孔的反应强度在其中起中介作用(Buades-Rotger & Krämer, 2018)。杏仁核对于威胁性信息的过度反应也出现在 BPD (Bertsch et al., 2018)和创伤后应激障碍(Fitzgerald et al., 2018)等具有反应性攻击高风险的人群中，这可能是个体容易被激惹的神经生理基础，可以用来预测个体的反社会行为(Dotterer et al., 2017)。研究中还发现，情绪性威胁刺激可能是真实存在的，但也可能是个体的主观判断。有长期暴力史的被试对中性面孔会表现出杏仁核的过度激活反应(Pardini & Phillips, 2010)，这一现象可能是由于高攻击性的个体倾向于将中性线索感知为带有负性效价，即将中性线索表征为威胁信息，从而引发反应性攻击(Best et al., 2002)。这种对于外界线索的敌意归因倾向常见于反应性攻击个体，而非主动性攻击个体中(Philipp-Wiegmann et al., 2017)。

在完成竞争性任务的过程中，个体也常会体验到来自对手的威胁或挑衅，有可能通过攻击行为来达到获胜的目的。如在减点−攻击范式(point-subtraction aggression paradigm, PSAP)的任务情境中，被试与虚拟对手共同完成任务，双方均可以通过非攻击反应、攻击反应和防御反应三种选择来获得高分，连续按 A 键 100 次可为自己加 1 分(非攻击反应)，连续按 B 键 10 次可为对手减 1 分(攻击反应)，连续按 C 键 10 次可以保护被试在一定时间内不被对手减分(防御反应)。被试在屏幕上可以实时看到自己的分数变化，从而监控对手的选择策略。当发现自己被减分时，即可视为受到对手挑衅的情境，但事实上分数变化已由主试预先设置完成，最终以被试选择攻击反应键的次数和频率作为反应性攻击的操作性指标(Skibsted et al., 2017)。da Cunha-Bang 等人(2017)结合 PSAP 任务考察了暴力犯受到挑衅后的神经反应，结果发现暴力犯比对照组更具攻击性，杏仁核和纹状体对挑衅的反应性明显较高，而且杏仁核对挑衅的反应强度与暴力犯的攻击反应呈正相关，说明暴力犯对社会挑衅具有较高的神经敏感性。New 等人(2009)也通过氟脱氧葡萄糖正电子发射断层扫描在 PSAP 任务中发现，相比于对照组，在无诱因状态下，BPD-IED 共病组的杏仁核代谢活动较低；但在挑衅状态下，BPD-IED 共病组的杏仁核代谢活动增加。虽然从行为学结果来看，两组在挑衅状态下均表现出一定的攻击性，但 BPD-IED 共病组的攻击性更强。结果提示我们在那些有攻击行为表现的患病人群中，其杏仁核的活动更不稳定。

4.2 杏仁核的"冷"反应

有研究发现，具备精神病态特质(Azevedo et al., 2020)和冷酷无情特质(Urben et al., 2018)的个体更倾向于主动性攻击，他们所表现出的对威胁不敏感(Kozhuharova et al., 2019)，不在意他人痛苦(Campos et al., 2022)，对惩罚后果无所畏惧(Lilienfeld et al., 2012)，以及道德决策不当(Tanaś & Łuczak, 2021)等问题，都有助于促进目标导向的主动性攻击。与反应性攻击相反，主动性攻击较少地与强烈的情绪反应相关联(Berkowitz, 1993)，在认知和情感上也都具备一些"冷"的特点。如前述对威胁不敏感说明个体并未对威胁线索进行正常识别或加工，道德决策不当是道德功

能受损以致不能避免做出伤害他人的决策，这是在认知层面上未能发挥正常功能；不在意他人痛苦说明个体对他人不能产生共情反应，对惩罚后果无所畏惧是对攻击后果缺乏最基本的风险知觉和恐惧，这是在情感层面上未能产生正常反应。在这些过程中我们观察到杏仁核的激活不足或减弱的现象，即为"冷"反应。

4.2.1　杏仁核与威胁反应

在面对威胁线索时，并非所有攻击人群的杏仁核反应都处于过度激活的状态，精神病态人群的反应则相反。精神病态并非 ASPD 的一种严重类型，ASPD 的诊断更强调可观察的行为，而精神病态的诊断还关注个体的情绪情感缺陷，其中 CU 是最为核心的特征(Butrus, 2019)。ASPD 患者通常可能合并患有抑郁/躁狂等心境障碍或焦虑障碍，而精神病态似乎能够"保护"个体，使其免受抑郁和焦虑等情绪困扰，在面对威胁时也较少出现过激反应(Butrus, 2019; Hofmann et al., 2021)。有研究者分别分析了精神病态和 ASPD 与个体对威胁性情绪面孔杏仁核反应的相关性，发现精神病态得分与杏仁核反应呈反比，而 ASPD 得分与杏仁核反应呈正比(Hyde et al., 2014)。Dolan 和 Fullam (2009)在有暴力行为表现的精神分裂患者中发现，精神病态得分越高，对愤怒面孔的杏仁核反应越弱；在 CD 青少年中也观察到类似的现象(Ewbank et al., 2018)。这一结果可能与精神病态群体的反应反转能力有关，并会影响到个体的主动性攻击。愤怒表情是能够引发反应反转的社会线索，也就是说，正常个体在看到他人的愤怒表情时，为避免卷入麻烦，通常会停止自己当前的行为或选择其他的代替性反应。但是对他人的愤怒不敏感的个体，很可能无法产生反应反转，从而不能及时地调整自己的行为(von Borries et al., 2012)。另外，Zhang 等人(2021)发现 CD 个体对威胁的神经反应强度与易激惹的水平呈正比，但与 CU 得分呈反比；而且 CU 特质能够调节易激惹性和威胁神经反应之间的关系，对于高水平易激惹的青少年，当其 CU 特质水平也很高时，威胁神经反应呈现出减弱的趋势。而且精神病态个体在面对不公平的待遇时杏仁核反应较弱(Vieira et al., 2014)，在拒绝不公平的提议时杏仁核的活动减少，杏仁核和边缘脑区之间的连接也减少(Osumi et al., 2012)。而杏仁核的低活性代表着反应性攻击的减弱(Osumi et al., 2012)，这与精神病态的外化行为表现是一致的，精神病态更多地表现出为了追求个人利益而主动攻击的行为(Kolla et al., 2013)。

4.2.2　杏仁核与共情能力

Blair (1995)的"暴力抑制机制"模型指出人类存在抑制攻击行为的内在调控机制，即当他人表现出痛苦或屈服信号时，个体会停止攻击，但缺乏共情是反社会人群的一个显著特征。共情包括认知共情(cognitive empathy)和情感共情(emotional empathy)两个维度(岳童, 黄希庭, 2016)。VIM 被激活的前提是个体能够理解他人的情绪状态。行为学实验的结果支持具有精神病态倾向的青少年/儿童(Moore et al., 2019; Northam et al., 2022; Petitclerc et al., 2019; Rehder et al., 2017)或精神病态成人(Fossati et al., 2017; Gillespie et al., 2019)存在对悲伤或恐惧情绪的识别障碍，体现出认知共情能力低下的特点；而且这类识别障碍主要与主动性攻击有关(Kimonis et al., 2006)。以上对于痛苦情绪的识别障碍可能是出于注意缺陷(Scheeff et al., 2021)。一些眼动研究发现，问题青少年的 CU 水平越高，对悲伤和厌恶面孔的眼部区域倾注的注意越少(Demetriou & Fanti, 2022; Levantini et al., 2022)；罪犯的精神病态得分越高，对恐惧面孔眼睛区域的注视时间越短(Dargis et al., 2018; Gillespie et al., 2017)。也有研究指出，CU 特质与悲伤和恐惧的面部表情识别较慢有关，与错误率无关，因此认为 CU 青少年的情绪识别障碍并非出于注意力缺陷，而是处理速度的问题(Hartmann & Schwenck, 2020)。需要注意的是，虽然个体的 CU 特质与共情水平呈负相关(Waller et al., 2020)，但在 CU 个体的成长过程中，认知共情和情感共情的发展特点是不同的(Milone et al., 2019)。其中，认知共情会随着年龄的增长与常人无异，如被诊断为 ASPD 的成人暴力犯与健康被试在观眼读心任务中的表现没有显著差异，说明他们对社会情绪信息的认知加工相对正常(Schiffer et al., 2017)；在操控注意力的情况下让精神病态罪犯完成情绪识别任务，结果发现精神病态罪犯的表现与对照组一样好(Glass & Newman, 2006)，但其情感共情却不能发展到正常水平(Owens et al., 2018; Rijnders et al., 2021)。这些发现在一定程度上可以解释为何认知共情缺陷的研究证据大部

分来自于问题青少年群体。

杏仁核是负责恐惧情绪识别的重要脑区。首先，一个对 105 项 fMRI 研究的元分析结果支持杏仁核对恐惧表情反应更积极的观点(Fusar-Poli et al., 2009)。其次，证据来自于临床观察。一位双侧杏仁核损伤的病人 SM 表现出从面部表情中识别恐惧的能力缺陷，该缺陷源于自由观看时不能自发关注眼睛这一情绪表达的关键区域，因为当给予“看眼睛”的明确指令时，她对恐惧面孔的识别变得完全正常(Adolphs et al., 2005)，这同时也说明杏仁核能够起到帮助个体聚焦显著性刺激的作用。除此之外，还观察到双侧杏仁核受损的患者对通过声音线索、身体姿势(Sprengelmeyer et al., 1999)以及音乐(Gosselin et al., 2007)表达出的恐惧存在识别障碍。以上临床病例表明杏仁核损伤损害了对恐惧的认知，Marsh (2016)在解读这些结果时指出，在感知他人情绪的过程中，杏仁核内发生的活动对于正确理解恐惧(认知共情)很重要。研究者们提出“情绪模拟”这一概念来说明为何杏仁核损伤不仅会导致个体不能准确标记恐惧情绪，而且无法产生共情反应(Bird & Viding, 2014)。对于杏仁核受损的个体来讲，当他们经历恐惧时，杏仁核无法对这种状态产生足够的内在表征，所以在看到他人表现出来的恐惧线索时，没有内在表征与其相对应，不能产生模拟效应，就很难对其做出准确的识别或标记(Cardinale et al., 2021; Marsh, 2016)。有研究发现，自我报告的个人恐惧经历的强度可以预测个体识别他人恐惧表情的能力(Buchanan et al., 2010)。将自己的恐惧体验与他人的恐惧表达联系起来是共情的基本形式，个体能够准确标记他人的情绪状态是共情过程正在发生的标志之一，而杏仁核在这个过程中至关重要(von Polier et al., 2020)。

因此，研究者们也开始关注攻击或暴力群体的杏仁核功能。反社会人群对于他人痛苦线索的杏仁核反应激活不足可能是其共情缺陷的神经生理基础(Blair, 2019; Saladino et al., 2021)。有研究在精神病态群体中观察到对他人的恐惧和悲伤等痛苦线索的杏仁核反应减弱的现象(Dolan & Fullam, 2009)。带有 CU 特质的 CD (CD+CU)青少年，会出现对他人恐惧面孔的杏仁核反应不足(Viding et al., 2012), CU 水平与杏仁核反应强度呈反比(Aggensteiner et al., 2022)。青少年的精神病态倾向越严重，看到他人疼痛时的杏仁核反应越弱(Marsh et al., 2013)。儿童的 CU 水平越高，看到他人受伤害的具体情境时，其左侧杏仁核、前扣带回以及前脑岛的连接越弱(Yoder et al., 2016)。Lozier 等人(2014)发现 CU 特质、主动性攻击都与 CD 个体对恐惧面孔的右侧杏仁核反应呈负相关，并且指出右侧杏仁核对恐惧面孔的低反应性中介了 CU 特质和主动性攻击的关系，即 CU 个体可能是通过右侧杏仁核的功能障碍促进了主动性攻击的行为表现。但 Meffert 等人(2018)指出杏仁核对于恐惧表情的反应与 CU 水平之间的关系受到早期创伤经历的影响，对于创伤程度较低的青少年，前者可以负向预测后者，否则二者之间是正向预测的关系。CD+CU 青少年通常被认为更有可能发展成为 ASPD (Blair et al., 2015)。另外，攻击或暴力个体还表现出情感共情的缺陷。从具有精神病态倾向的男性儿童自我报告的情感体验来看，他们对受害者表现出更少的共情(Jones et al., 2010)。Martin-Key 等人(2017)认为这一缺陷并不是 CD+CU 青少年所特有的，不论是否带有 CU 特质，CD 群体在观看带有悲伤、恐惧和厌恶等情绪的自传经历电影时都表现出情感共情的困难。在成人群体中甚至发现，精神病态水平越高的人越享受他人表达出来的恐惧(Book et al., 2020)。杏仁核在对他人情绪线索做出反应的情感内部状态的形成中起着重要的作用，而功能减弱可能是导致高水平精神病态个体的共情能力衰退的生物学原因(Seara-Cardoso et al., 2016)。

4.2.3 杏仁核与惩罚回避

攻击或暴力人群除了不关心自身行为是否会对他人造成痛苦之外，同样也不在乎对自己会造成何种后果，不会避免出现会被惩罚的行为，这种表现在精神病态人群中尤为突出(Blair et al., 2004; 刘宇平 等, 2019)。Gray (1987)认为个体的情绪和行为是由行为激活系统(behavioral activation system, BAS)和行为抑制系统(behavioral inhibition system, BIS)所控制的。BAS 对奖赏刺激比较敏感，被激活以后个体会迅速做出反应，并伴随兴奋、快乐等积极的情绪体验；BIS 则对惩罚刺激比较敏感，个体会抑制不恰当的行为，通常伴随焦虑、害怕等消极的情绪体验。惩罚不敏感假说将惩罚回避缺陷解释为是精神病态个体很少赋予惩罚以消极效价，从而在回避惩罚后果方面存在缺陷的

结果(Serin et al., 2011), 亦即 BIS 处于失灵的状态。恐惧功能障碍假说则指出, 这与精神病态个体的恐惧体验缺失有关, 他们对恐惧的主观体验水平较低, 惩罚作为厌恶性刺激对大脑情感中心的影响较小(Lykken, 1957)。根据上述假说, 精神病态个体在做出行为决策时之所以不会考虑回避惩罚, 可能是由于对惩罚后果的恐惧缺失所导致的(Hofmann et al., 2021), 这与个体恐惧条件化(fear conditioning)的学习失败(López et al., 2013)以及被动回避学习(passive avoidance learning)的能力缺陷(Glimmerveen et al., 2022)所引发的决策障碍有关。

恐惧条件化是指一个中性刺激在与一个恐惧性的非条件刺激(unconditioned stimulus, US)反复同时出现后, 即便 US 不再出现, 该中性刺激也能够引起个体的恐惧反应, 而且这种条件作用是动物和人类所共有的一种行为反应模式(Mertens et al., 2020)。目前已有证据支持精神病态存在恐惧条件化的学习障碍(Birbaumer et al., 2005; López et al., 2013), 杏仁核被认为是大脑的恐惧中心(LeDoux, 2003), 且参与恐惧相关记忆的巩固(Jeon et al., 2021; Yang et al., 2016)。研究中常用来考察个体恐惧条件化学习过程的是巴甫洛夫条件反射范式, 涉及习惯过程、获得过程以及消退过程。其中, 获得阶段包含两种刺激条件, 即与 US 匹配出现的条件化刺激(conditioned stimulus, CS+)以及不与 US 匹配出现的条件化刺激(CS−), 二者的区别在于是否与 US 建立联结(Madaboosi et al., 2021)。健康对照组会表现出边缘−前额回路(包括杏仁核、眶额皮层、脑岛和前扣带回)在这两种条件下的神经反应差异增强的现象(Birbaumer et al., 2005), 说明 CS+能够引起该回路较强的神经反应, 这些脑区被认为会参与个体的恐惧条件学习过程(Lindström et al., 2018), 而精神病态组没有这种差异反应, 并且在两种条件下的皮肤电反应上也没有差别(Birbaumer et al., 2005; Rothemund et al., 2012)。进一步的研究表明, 精神病态的无畏维度与获得阶段皮肤电的差异反应呈反比, 较小的差异标志着没有在 CS 和 US 之间建立起联结, 精神病态个体的无畏水平越高, 恐惧条件化学习的完成度越差(López et al., 2013)。恐惧条件反射的学习缺陷更多地与精神病态的人际/情感维度有关, 这一点在监禁(Vaidyanathan et al., 2011)和非监禁(Dvorak-Bertsch et al., 2009)的精神病态人群中都得到了证实。在具有精神病态倾向的青少年(Marsh, Finger, Schechter et al., 2011)和成人精神病态(Thomson et al., 2019)中也发现, 他们较少体验到恐惧, 并且对能够唤起恐惧的生活事件较少体现出交感神经系统的兴奋。这与杏仁核受损病人的反应类似, 他们对奖励或惩罚都不会出现明显的皮肤电反应(Bechara et al., 1999)。这种低恐惧的特点也会影响个体的被动回避学习, 不能习得通过改变自己的行为以避免惩罚, 从而在行为决策的过程中更加不计后果, 更容易发展成为 CU 个体(Herpers et al., 2014)。

被动回避学习是通过刺激−强化使得个体习得如何赋予刺激积极或消极属性的过程, 是个体做出行为决策的基础(Blair et al., 2004)。被动回避范式要求被试根据即时的奖惩反馈来习得对某些刺激做反应或不做反应, 以对奖赏刺激的“不反应”和对惩罚刺激的“反应”来表征被动回避学习能力的缺陷(Glimmerveen et al., 2022)。研究表明, 不论惩罚是何种形式, 相比于对照组, 精神病态个体都表现出不能规避惩罚, 且倾向于做出风险决策(Gao et al., 2009; Glimmerveen et al., 2022)。CD 个体也不能习得如何反应才能避免惩罚(White et al., 2013)。而且在青少年群体中, 不论是否存在品行问题, 带有 CU 特质的个体其被动回避行为都显著地减少(Frick et al., 2003)。只有早期的一项研究没有发现精神病态个体的被动回避能力缺陷(Lynam, 1997)。而电生理实验和脑损伤研究指出被动回避学习的神经基础涵括杏仁核、眶额皮层和纹状体(Schoenbaum et al., 2000; Schoenbaum & Roesch, 2005)。其中, 杏仁核负责刺激好坏的判断以及刺激−强化联结的建立, 并将这些信息作为强化预期通过腹侧纹状体反馈给眶额皮层(Roesch et al., 2009), 以协助个体做出有利决策。Finger 等人(2011)在具有精神病态倾向的 CD 青少年中发现, 在完成被动回避学习任务的过程中其杏仁核反应较弱, 他们不能通过强化预期来改变他们对行为后果的表征。对于惩罚信息的不敏感和对奖赏信息的追逐导致个体聚焦于目标行为, 无惧后果, 从而在行为决策的过程中做出不利选择。

4.2.4　杏仁核与道德决策

Raine 和 Yang (2006)曾对反社会行为和道德决策的脑机制进行综述, 首次基于功能成像的相

关证据认为这两者的神经基础存在重合，重合的区域涉及腹侧前额叶皮层、杏仁核和角回，并提出反社会行为的神经道德理论(neuromoral theory)，即假设这些区域的损伤会导致道德功能受损，从而进一步影响个体的反社会行为。众多研究结果广泛支持了这一理论，其中包含 4 个方面的证据，除脑损伤研究强调腹侧前额叶皮层的作用外(Darby et al., 2018)，其余三个方面的证据都关注到了杏仁核的重要性。首先是检查精神病态人群在进行道德判断和道德决策时是否在反社会行为和道德共同的大脑区域出现功能损伤。结果发现，精神病态水平高的个体在思考道德决策时杏仁核的激活减弱(Yoder et al., 2015)；在判断引起恐惧的陈述的道德可接受性(Marsh & Cardinale, 2014)以及道德判断的内隐联想测验(Marsh, Finger, Fowler et al., 2011)中，同样也发现了杏仁核的激活减少。与之前的脑损伤研究结论不同，这些非神经性病例的 fMRI 研究结果将重点放在杏仁核上，将其作为神经道德理论的一个关键区域。其次是考察精神病态人群在面对从道德层面会带来痛苦的刺激时的神经反应，观察到部分神经道德回路的激活减少，其中包含杏仁核(Harenski et al., 2009)。最后，还有部分研究关注的是精神病态和反社会个体在道德相关范式中神经道德回路相关脑区的耦合情况，发现右侧杏仁核、颞顶联合与前扣带回、前脑岛、纹状体、腹内侧前额叶的耦合减少(Yoder et al., 2015)以及杏仁核与眶额皮层的耦合减少(Marsh, Finger, Fowler et al., 2011)。这些相关但不同的证据支持反社会行为的神经道德理论的观点，即反社会个体大脑机制的功能失调在一定程度上映射到了道德相关的神经回路，受损的道德功能在大脑的功能障碍与反社会行为之间起中介作用(Raine, 2019; Raine & Yang, 2006)。

在 Raine 的这一理论中虽然强调了反社会人群的杏仁核在道德决策中可能发挥的作用，但对其作用机制的阐述并不具体。Blair (2007)结合早期研究曾指出，杏仁核的作用在于通过刺激强化学习将伤害他人的行为与受害者的痛苦这一厌恶刺激联系起来，并将强化预期的相关信息反馈到腹内侧前额叶，从而引导健康个体远离道德越轨。在精神病态个体中，这些结构的功能障碍意味着道德推理功能受到损害，主动性攻击被用于实现目标的风险增加(Blair, 2017)。

Blair (1995)曾对道德越轨和传统越轨进行了区分，前者是指会对他人的权利和福利造成侵害的越轨行为(如打人)，后者是指违反社会系统内构建社会互动的行为一致性的行为(如穿着异性服饰)。区别之一在于即便社会规则允许，道德越轨通常也不会被常人所接受，而传统越轨则可能被接受。健康个体在 39 个月大的时候就可以分辨道德越轨和传统越轨(Song et al., 1987)，而精神病态个体不能很好地加以区分(Blair, 2007)，但也有研究指出精神病态并不存在这一区分障碍(Aharoni et al., 2012)。然而二者的区分是一个抽象的道德推理过程，重点在于前者涉及情感成分，而情感反应对于道德判断至关重要(Vasconcelos et al., 2021)。精神病态个体的问题在于他们可以区分对错但并不关心行为的属性(Cima et al., 2010)。健康个体不愿意看到他人的痛苦，所以也会避免出现与痛苦相关的行为(如伤害他人)。如前所述，精神病态个体对他人痛苦的自主反应降低，对悲伤和恐惧等痛苦线索存在识别障碍(Rehder et al., 2017)；而且在道德困境中不会体验到冲突，认为做出决策很容易，做决策时不会避免伤害他人(Tanaś & Łuczak, 2021)，更偏好功利性的道德选择(Li et al., 2020)。高水平 CU 个体即便明知自身行为违反道德规范甚至会对他人造成伤害，也不会感到内疚(Vasconcelos et al., 2021)。这些表现不仅与个体的共情能力有关，还受到道德推理的核心过程的影响，即在造成伤害的行为与他人的痛苦这一厌恶性后果之间建立联结的刺激强化学习过程，而这一过程与杏仁核所介导的情绪反应及其负责的强化预期信息的发送功能有关(Blair, 2007)。只有当强化预期信息涉及他人的痛苦时，腹内侧前额叶才有可能指导个体实现道德越轨行为的抑制(Blair, 2007; Marsh & Cardinale, 2014)。

5 杏仁核与其他脑区的连接异常

杏仁核对于个体的攻击行为非常重要，但它并非独立地发挥作用。现有的对具有高水平攻击性的群体的神经影像学研究表明，涉及攻击性的脑区网络包括杏仁核(Mccloskey et al., 2016)、纹状体(da Cunha-Bang et al., 2017)、前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)和眶额皮层(orbitofrontal cortex, OFC) (Beyer et al., 2015)。这些区域调控攻击行为的工作模式是前额叶皮层(prefrontal cortex,

PFC)抑制或介导攻击性反应的皮层下活动(Nelson & Trainor, 2007)，其中包含杏仁核。虽然在不同的攻击类型中，杏仁核有“冷”、“热”反应之别，但在分别以两类攻击为主要攻击表现形式的人群中都发现了杏仁核与 PFC 不同区域的连接异常(Blair, 2007; Coccaro et al., 2007)，杏仁核-PFC 连接在其中的作用机制也各有不同。

首先是对于反应性攻击，杏仁核-PFC 的连接异常可能使得 PFC 不能发挥正常的抑制控制功能，从而无法调控杏仁核的“热”反应(Blair, 2016)，更多体现的是自上而下的作用机制(皮层对皮层下结构的控制失灵)。这一连接缺陷与攻击相关变量的关系已经在研究中得到了检验。有研究发现，以反应性攻击为主的IED患者在面对愤怒面孔时，杏仁核-OFC 之间的耦合相比于健康对照组有所减少(Coccaro et al., 2007)。对精神分裂症患者的静息态扫描结果发现，其杏仁核与腹侧 PFC 的功能连接显著少于对照组，更重要的是，这一功能连接与攻击水平呈负相关(Hoptman et al., 2009)。另一项对健康个体的静息态扫描也表明，杏仁核与 OFC 的功能连接与愤怒特质呈负相关，而与愤怒控制能力呈正相关(Fulwiler et al., 2012)。在挑衅性刺激或威胁相关的背景下，杏仁核-PFC 的连接异常使得杏仁核在过度激活时无法得到 PFC 的有效控制，从而导致反应性攻击的风险增加(Blair, 2016)。但也有研究者在大样本中并没有发现不同攻击水平的健康被试在杏仁核-OFC 的结构连接上存在差异(Beyer et al., 2014)，这一结果可能与被试取样有关，有必要将类似研究拓展到带有攻击性临床表现的人群中。

其次是对于主动性攻击，在杏仁核“冷”反应的基础上，杏仁核-PFC 的连接异常同样会使得 PFC 无法完成抑制控制以及学习、决策等高级认知过程(Blair, 2004; Mendez, 2006)，更多反映的是自下而上的作用机制(皮层下结构影响皮层的功能)。研究发现，与非精神病态罪犯相比，精神病态罪犯不仅在结构上出现右侧钩束的不完整现象，即连接腹内侧前额叶(ventromedial prefrontal cortex, vmPFC)和颞叶的白质纤维束存在结构缺陷，而且在功能连接上也发现杏仁核-vmPFC 的连接减少(Blair, 2007; Motzkin et al., 2011)；在具有精神病态倾向的青少年完成面部情绪处理(Marsh et al., 2008)、道德判断(Marsh, Finger, Fowler et al., 2011)的过程中同样出现了杏仁核-PFC 的连接问题。精神病态个体决策能力的缺陷是由于情感信息整合不足所导致的(Blair & Mitchell, 2009)，而杏仁核-PFC 的连接异常很有可能是其神经生理基础(Motzkin et al., 2011)。杏仁核被认为负责感知环境刺激的情感显著性(Šimić et al., 2021)，而 PFC 负责在决策过程中区分选项和结果的相对价值(Grabenhorst & Rolls, 2011)，精神病态个体的杏仁核对他人的痛苦反应不敏感(Aggensteiner et al., 2022; Dolan & Fullam, 2009; Marsh et al., 2013; Viding et al., 2012)，与 PFC 的相互作用失败会增加他们在决策时对可能导致他人痛苦的攻击行为的可接受度(Cardinale et al., 2018)。Mendez (2006)也指出，杏仁核对于威胁检测和道德学习至关重要，vmPFC 负责对于道德情境的情感标记，OFC 对社会线索做出反应并缓解冲动反应，精神病态可能是由于杏仁核-PFC 之间未能传递并形成道德困境的情感标签，加上对反应失去控制，从而会出现更多的违反伦理的行为。另外，Blair (2004)认为，精神病态被动回避学习的失败也是由于杏仁核和 vmPFC 之间的连接出现了问题。在学习过程中，杏仁核无法将有效的刺激效价信息反馈给 PFC，进而影响后期的行为后果表征，使得个体倾向于做出不利决策，更多地与主动性攻击有关。

需要注意的是，杏仁核与 PFC 的连接并不简单，灵长类动物的研究揭示了二者之间的连接原则。PFC 的边缘部分，主要是 OFC 后部和 ACC 尾部，是与杏仁核具有最强解剖联系的部分。其中，杏仁核对于 PFC 背侧和外侧部分的支配较少；ACC 向杏仁核发送的投射多于接受来自杏仁核的投射，而后部 OFC 向杏仁核的投射远远少于接受来自杏仁核的投射(Timbie & Barbas, 2014)。所以在杏仁核与 PFC 的投射关系中，ACC 更多地起到发出信号的作用，而 OFC 则负责接收信号，这与前者的“行动”或“反应”导向功能以及后者的“感觉”或“知觉”作用相一致(Timbie & Barbas, 2014)。并且，从 ACC 和 OFC 到杏仁核的投射终止模式存在重要的解剖学差异，这其中涉及到杏仁核的子结构：基底外侧核(basolateral amygdala, BLA)、中央核(central amygdala, CeA)、皮质核(cortical amygdala, CoA) (Sah et al., 2003)。来自 ACC 的投射神经元广泛终止于整个基底核，故 ACC 负责调

节基底核如何处理感觉输入; 而 OFC 的输出相对独特, 它们终止于夹层或调节中央核活动的 GABA 能抑制性神经元以及 CeA 本身, 是 CeA 活动的仲裁者(Ghashghaei & Barbas, 2002)。人类研究虽然无法提供与动物研究相同的神经解剖学分辨率, 但与上述研究结果大体一致(Roy et al., 2009)。越来越多的证据表明, 攻击行为的神经基础涉及杏仁核与 PFC 的腹侧和内侧, 但仍然需要厘清二者的协同作用机制, 关键是要考虑到杏仁核与 PFC 的神经解剖学特异性, 因为与杏仁核的连接不仅在 ACC 和 OFC 之间存在差异, 与更多功能迥异的亚脑区之间也存在差异(Rosell & Siever, 2015)。

6 总结与展望

回顾已有研究, 在表现出攻击或暴力行为的人群中观察到杏仁核的结构与功能异常。其中, 杏仁核的功能障碍有两种相反的异常表现: 在 IED、BPD 以及表现出反应性攻击的暴力犯等群体中, 杏仁核对威胁性刺激(如他人的挑衅或愤怒表达)的反应增强(“热”反应); 而带有 CU 特质的精神病态人群会出于追求个人目标而采取主动性攻击, 表现出对威胁性刺激以及他人痛苦情绪线索的杏仁核反应减弱, 以及在恐惧条件学习和道德决策的过程中杏仁核的激活不足(“冷”反应)的现象。聚焦攻击人群杏仁核的结构和功能异常有助于理解攻击行为发生的潜在机制, 并为攻击人群的干预提供启示。但是, 该领域仍存在问题亟待进一步探究, 未来研究可以从以下几个方面开展。

6.1 人群研究和过程研究并举

杏仁核的差异性反应与攻击类型有关, 目前在攻击领域大多数研究者都认可反应性攻击和主动性攻击的二维结构模型, 主张两类攻击有其特异性的神经生物学基础(Blair, 2016; Rosell & Siever, 2015)和遗传基础(曹丛 等, 2012), 在一些生理指标上还发现了性别差异(Armstrong et al., 2019)。本综述聚焦杏仁核这一关键核团, 并将其“热”反应与反应性攻击、“冷”反应与主动性攻击相关联, 尝试理清杏仁核的功能障碍与攻击的关联路径。不过反应性攻击和主动性攻击并不是此有彼无的关系, 因此很多研究在对某人群的攻击类型进行表述时通常会用“以反应性/主动性攻击为主”的说法, 这也是当前研究的问题所在, 两类攻击的研究单从人群上进行区分会使得对于攻击过程的考察并不纯粹。要解决这一问题, 需要结合攻击范式直接考察攻击过程中的神经反应。从目前发展出的攻击范式来看, 有些早期范式不能很好地反映攻击的发生过程, 如 Bobo 模仿范式强调观察学习对攻击行为的影响; 攻击机器法、文章评价法的指导语涉及虚构内容可能会误导被试, 导致他们做出攻击行为更多地是出于助人进步的亲社会动机而非敌意性动机(吴少敏 等, 2009)。其他的攻击范式大多模拟的是反应性攻击的发生过程, 如竞争反应时范式(Taylor aggression paradigm, TAP)、减点−攻击范式、辣椒酱分配范式, 均关注被试在完成任务的过程中受到对方的伤害或挑衅之后所做出的反应(吴少敏 等, 2009), 而考察主动性攻击的范式较少。虽然最早的 TAP 有时也用来同时考察两类攻击, 但 Brugman 等人(2015)指出原版并没有关于计算两类攻击的最佳方法的指南。Boccadoro 等人(2021)对该范式进行了改编, 通过两个 TAP 分别考察反应性攻击和主动性攻击。在反应性 TAP 中, 对手通过模糊被试的屏幕反复挑衅, 阻碍被试获胜的机会; 在主动性 TAP 中, 只有被试可以通过模糊屏幕干扰对手的表现。最终均以被试选择给对方的屏幕模糊程度为相应攻击程度的衡量标准, 其中反应性 TAP 中的攻击是受到挑衅后做出的, 主动性 TAP 中的攻击是无缘无故做出的。另外, Martens 等人(2007)开发了杀虫范式来研究主动性攻击, 该范式设置有练习任务和“灭绝任务”, 在两个任务中都需要被试杀死虫子, 但练习任务中杀死虫子的数量是由主试设定的, 而“灭绝任务”是由被试自己掌控的, 可以体现主动性攻击的程度, 结果发现最初的杀死虫子的行为可以诱导出更强的杀戮行为, 而且情感体验更偏积极, 这一研究有助于我们理解连环杀手的暴力循环。如前所述, 改编后的 TAP 可用于主动性攻击的脑成像研究, 相比之下, 杀虫范式并不适合, 因此在研究范式上还需更为创新与精进, 可考虑将实际的杀虫行为替换为在电脑屏幕上选择杀虫数量, 虽然实际体验有所差异, 但囿于脑成像研究环境的限制, 杀虫数量设定在一定程度上也可以体现主动性攻击的倾向。考察主动性攻击, 研究范式设计的关键在于能够体现在没有挑衅或威胁的情况下对对手施加的攻

击强度和次数(Belfry & Kolla, 2021)，可以是为了赢得比赛或获得奖励而对对手进行干扰或阻碍，如 Lobbestael 和 Cima (2021)结合虚拟现实(virtual reality, VR)技术开发了分别考察反应性攻击和主动性攻击的酒吧情境范式，任务中反应性攻击通过一个作弊且对被试有侮辱行为的飞镖玩家所触发，主动性攻击状态则是告知被试可以通过攻击来赚取额外的钱。虽然该研究发现 VR 对反应性攻击的诱发效果更好，主动性攻击任务仍需进一步完善，但作为一种潜在工具，结合 VR 技术来考察攻击行为在伦理层面可能具有更高的接受度，而且可以弥补前述虚拟设定杀虫数量所带来的体验缺失的不足。诚然，VR 技术与脑成像研究的结合目前仍存在问题，未来可以借鉴记忆研究中的做法(Reggente et al., 2018)，如扫描前在 VR 情境中完成相关任务范式，在扫描过程中向被试展示 VR 体验的视频。在成果方面，目前已有一些考察反应性攻击过程的脑成像研究(Blair, 2016)，但主动性攻击过程的研究相对缺乏，未来应重点关注该攻击类型，攻击人群研究与攻击过程研究并举，以丰富攻击的神经基础模型。

6.2　关注杏仁核子结构的功能

在攻击人群中之所以会观察到杏仁核的“冷”、“热”反应，有可能是由于大多数研究并未区分杏仁核的子结构所致。杏仁核体积很小，以往的脑成像研究都将其作为一个单一结构进行考察，后来才逐渐出现对杏仁核子结构功能分析的研究。杏仁核的子结构分工不同：BLA 负责感觉信息传入与整合，CeA 负责信息输出、调控注意以及运动反应(John et al., 2013)；而 CoA 的功能往往被人忽略，Bzdok 等人(2013)的研究表明，CoA 对嗅觉敏感，并且可能与社会信息加工有关。另外，左侧和右侧杏仁核的功能也不尽相同，左侧杏仁核更多地参与有意识的情感加工过程，而右侧杏仁核负责潜意识的自动化加工过程(Dyck et al., 2011)。

Gopal 等人(2013)在探讨精神病人的杏仁核结构与攻击之间的关系时发现，整个杏仁核体积与攻击性或冲动性无关，但双侧腹侧杏仁核体积与运动冲动性呈正相关，左侧背侧杏仁核与攻击性呈负相关。在被诊断为精神病态的暴力犯样本中发现，杏仁核的 BLA 出现高达 30%的组织减少，但中央和外侧核有 10%~30%的扩大效应(Boccardi et al., 2011)。因此，攻击人群杏仁核的形态异常需要进行更精细的检测。Roddy 等人(2021)对重度抑郁症患者杏仁核子结构体积的研究为我们提供了方法参照，即通过高分辨率 T1 和 T2 加权液体衰减反转恢复(fluid-attenuated inversion recovery, FLAIR)MRI 对整体杏仁核及其子结构进行体积评估和比较。

在功能方面，如对于精神病态人群共情缺陷的神经生理基础的解读是以杏仁核为中心的，Rijnders 等人(2021)将该人群认知共情和情感共情的缺陷追溯到 BLA 和 CeA，并且指出在正常的共情过程中，两个子结构的功能是“拉链式”的紧密结合，但精神病态个体在追求纯粹以自我为中心的目标时，就会将拉链拉开，从而影响其共情能力。还有研究者指出能够降低个体对恐惧线索反应的是杏仁核的 CoA 损伤，如果 BLA 受损的话，患者对恐惧表情的敏感性会升高(Terburg et al., 2012)。可见，杏仁核的不同区域受损，患者的功能受损表现也会有所区别。另外，在被动回避学习的过程中，刺激-强化的联结会涉及到杏仁核的平行加工，CeA 和 BLA 可以同时并独立地发挥作用，其中 CeA 负责编码结果的一般效价(行为的好坏判断)，BLA 负责编码结果的具体特征(激励的价值判断) (Balleine & Killcross, 2006)。杏仁核在不同的社会认知过程中都扮演着重要的角色，未来研究需关注杏仁核子结构在攻击行为的产生和维持过程中发挥的功能以细化杏仁核与两类攻击的关联路径。

6.3　探究攻击的神经网络基础

杏仁核并非独立地影响个体的攻击行为，其与许多皮层和皮层下结构也都有着密切的联系，并参与各种加工过程。除了前述与 PFC 的联合作用外，杏仁核还会通过与后扣带回的相互连接影响情感注意(Pearson et al., 2011)，与 PAG 的相互作用影响急性威胁反应(Nelson & Trainor, 2007)。攻击人群中杏仁核的异常可能不仅仅是本身的结构或功能损伤，还有可能是向杏仁核提供输入的其他脑区的处理缺陷或者与杏仁核的解剖连接异常所导致的(Anderson & Kiehl, 2012)。另外，在精神病态人群中发现，其情感特征和中央内侧核与额叶边缘网络的连通性降低有关，这一连通性关系到个体的显著性加工和情绪反应；其行为特征和 BLA 与额顶区域的连通性增强有关，而这一连

通性会影响个体的执行功能。因此，要理解精神病态的不同表现还需要关注杏仁核的子结构与不同脑区连通性的特异性变化(Aghajani et al., 2016)。本综述所提到的杏仁核过度激活与激活不足的“忽冷忽热”反应模式也可以在特定的环路背景下进行解读，可能是与其他脑区的连接异常所导致的。对威胁刺激的感知首先通过丘脑或感觉皮层传达给杏仁核的 BLA (Davidson et al., 2000)，BLA 作为通过杏仁核的感觉通道，将信息投射到杏仁核的 CeA，随后投射到控制恐惧反应表达的下丘脑和脑干区域(Feldman & Weidenfeld, 1998)。而从 OFC 到杏仁核的传入连接非常多，尤其是向杏仁核尾部区域的投射，OFC 对于皮层下结构能否起到调控作用至关重要。该回路的功能障碍通过过度激活导致强烈的负性情绪，通过激活不足导致对社会情绪线索不敏感(Freese & Amaral, 2009)。以往研究提示我们理解攻击行为的产生机制需重视杏仁核的功能障碍，但对于杏仁核如何融入神经网络知之甚少，限制了创建功能障碍模型以指导个性化干预的可能性，未来研究有必要进一步厘清攻击相关的神经网络的关联作用机制。

首先，针对攻击人群可利用纤维束成像追踪和 fMRI 等影像技术继续对杏仁核及其子结构与其他脑区的结构连接和功能连接进行研究，并考察结构/功能连接与攻击人群的行为表现(如反应性攻击、主动性攻击)、情绪情感反应(如愤怒控制、共情)以及认知水平(如道德判断)之间的关系，目前虽然已有一些相关研究(Beyer et al., 2014; Fulwiler et al., 2012; Hoptman et al., 2009; Yoder et al., 2015)，但仍然需要开展更多的基础研究以明确连接异常与攻击之间的关联，尤其是关注杏仁核与皮层或皮层下结构之间的有效连接来探索神经网络的方向性。其次，需要结合神经发育的阶段性特点来考虑攻击的神经网络基础。Steinberg (2010)曾从发展心理学的角度提出“双系统理论”来解读青少年的犯罪行为，认为大脑存在认知控制系统和社会情绪系统，前者主要涉及前额叶和顶叶区域，后者主要涉及边缘系统中的杏仁核，其中青少年群体在大约 16 岁时达到逻辑推理(认知脑)的高峰，而此时情绪脑的发育远没有那么发达，大多数个体在 25 岁左右这两个系统的成熟才趋于同步。不成熟的情绪脑会鼓励个体冒险，表现出高水平的感觉寻求和较低的冲动控制，容易出现攻击或暴力行为，符合青春期个体的行为特征，但随着年龄的增长，此类行为会慢慢减少。Moffitt (1993)将犯罪人分为青春期犯罪人和终身持续犯罪人，“双系统理论”可用于解读青春期犯罪人的神经发展路径。这些研究也提示我们，探索攻击的神经网络宜采取纵向研究的思路，加强发展心理学和攻击的神经生物学研究之间的联系，考虑攻击个体神经发育的动态变化对其行为的影响，以及神经回路间的作用机制或功能障碍是否存在跨时间的稳定性。

6.4 对于防治暴力行为的启示

攻击或暴力人群的问题并非简单的心理问题或者单纯的道德败坏，如 Raine (2018)指出 ASPD 是一种神经发育障碍，应当注重考察其背后的神经生理基础。暴力犯作为攻击行为的典型高危人群，目前在国内外暴力犯的矫治领域，暴力风险评估工作已经成为监管机构开展罪犯矫治工作的前提，旨在通过风险评估明确再犯的可能性以及导致其再犯的潜在因素，从而根据风险水平的高低投入相应强度的矫治资源，并且将导致其再犯的影响因素作为矫治靶标，从而做到“对症下药” (Andrews & Bonta, 2010)。目前的风险评估工具已经发展到第四代，第五代风险评估工具将纳入神经生理指标，以提高暴力风险评估的客观性和科学性(Ax et al., 2007)。这要求研究者在探究神经生理指标与暴力行为的关系时，须开展更为严格的实验研究，并对再犯率等数据进行追踪，以确保评估指标能够有效预测再犯可能性。如 Aharoni 等人(2013)通过追踪研究发现，在执行抑制控制任务时引发的错误相关脑成分可以预测罪犯在释放 4 年后的再犯情况，前扣带回活动水平较弱的罪犯再犯的几率大约是活动水平较强罪犯的两倍，提出可将上述成分作为评估再犯的潜在的神经生理指标。本综述支持杏仁核的结构和功能障碍可以作为暴力再犯的潜在预测指标，但如前所述，需要进一步细化杏仁核子结构在攻击发生过程中的作用以及与其他脑区的连通性。鉴于样本的特殊性、再犯追踪的周期较长以及心理学研究的可重复性危机等问题，仍需开展大量的基础研究来确定可以预测暴力再犯的神经生理指标，通过元分析或系统综述获得高等级的证据之后再纳入风险评估指标体系。除此之外，对于脑成像研究来说，小规模样本数据是常态。有一项新的研究首

次将人工智能(artificial intelligence, AI)领域的元匹配(meta-matching)方法引入神经科学领域，将大数据集上训练出来的机器学习模型迁移到小数据集上，基于脑成像的AI模型可用于预测个体的认知、心理健康、行为表现等表性特征(He et al., 2022)，这种方法也可以提高小型研究的预测能力。对于攻击行为的预测来讲，未来仍需要累积大规模的神经生理数据作为元匹配的基础。

基于杏仁核与攻击行为的密切关联，有研究者尝试使用杏仁核切除术来控制精神病人的极端攻击行为，目前已有1000多例，近70%的患者术后在行为障碍方面有所改善，但是否存在副作用还有待进一步的追踪(Gouveia et al., 2019)。另外，深部脑刺激(deep brain stimulation, DBS) (Dougherty, 2018)、经颅电刺激(transcranial electrical stimulation, tES) (Yavari et al., 2018)、经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS) (Lefaucheur et al., 2020)和经颅超声刺激(transcranial ultrasound stimulation, TUS) (Sarica et al., 2022)技术已经成为治疗神经和精神疾病的颇具前景的替代方法。但无论是何种技术，都需要通过前期研究精确定位靶点。如果是皮层水平的靶点，tES、TMS和TUS更为合适，其中TUS在近些年来的研究中比tES和TMS更具突出优势，因为该技术靶点指向可达毫米精度，且最重要的是可达深部脑区(Sarica et al., 2022)，但能否精准刺激杏仁核这一深部核团仍需要进行验证；对于杏仁核这一靶点来说，DBS是一种较好的选择，可尝试纳入诊疗方案用于改善精神病人的攻击行为(Gouveia et al., 2019)。需要注意的是，对于非精神病人的暴力罪犯来讲，神经生物干预的实施难度很大，不过仍可尝试探索非侵入式干预的应用空间。如有研究表明，鼻喷催产素可以降低杏仁核对威胁刺激的反应(Sauer et al., 2019)。部分动物研究支持催产素对攻击行为的抑制作用(Herbeck & Gulevich, 2019)，并且催产素受体在杏仁核中很丰富(Dong et al., 2017)，也有研究在健康的年轻男性中证实了催产素可以减少攻击行为(Berends et al., 2019)，但de Jong和Neumann (2018)指出催产素的抗攻击作用并不简单，仍需在人类中做进一步的验证研究。在非药理干预方面，Reisel (2015)的观点考虑到大脑的重塑性，提出可否通过训练或干预(如恢复性司法)使得罪犯的共情回路或神经道德回路恢复正常的功能，与受害人或受害人家属的沟通过程是最具生态效度的情境，很多国家都有开发不同类型的基于监管场所的恢复性司法方案，未来可尝试将脑成像扫描作为干预前后的测试手段来验证恢复性司法对于脑功能恢复的效果。另外，脑区结构/功能−攻击行为的关联路径也受到其他后天因素的影响，如胡小勇等人(2022)在综述中指出，低社会经济地位儿童和青少年的杏仁核体积较小(Merz et al., 2018)，对于威胁线索的敏感性和警惕性更强，杏仁核的激活水平更高(Assari, 2020)，杏仁核较小的体积和较高的功能反应导致个体会出现更多的攻击行为(Dotterer et al., 2017)，对于低社会经济地位的个体应着重提升其自我调节能力以充分发挥潜能；Norman等人(2015)则发现状态和特质依恋安全性的变化会调节杏仁核对威胁刺激的反应，安全型依恋可减少威胁相关的杏仁核反应，体现出培养安全型依恋作为干预措施的潜在用途。这些研究提示我们可以从后天因素中寻找会影响脑−行为关联路径的风险因子和保护因子，在机制研究的基础上以整合的视角做好暴力防治的端口前移工作。

参考文献

曹丛，王美萍，张文新，陈光辉. (2012). 主动性攻击和反应性攻击的遗传基础研究述评. *心理科学进展*, *20*(12), 2001–2010.

胡小勇，杜棠艳，李兰玉，王甜甜. (2022). 低社会经济地位影响自我调节的神经机制. *心理科学进展*, *30*(10), 2278–2290.

刘宇平，赵辉，李姗珊，张卓，杨波. (2019). 反社会人格障碍的神经生物学基础及其司法启示. *心理科学进展*, *27*(10), 1726–1742.

王绍坤，杨波. (2011). 国外精神病态罪犯的脑机制研究述评. *心理科学进展*, *19*(2), 202–208.

吴少敏，司秀玉，刘秀艳. (2009). 攻击行为实验研究范式的回顾与展望. *社会心理科学*, *24*(4), 22–24.

杨波. (2015). *犯罪心理学*. 北京: 高等教育出版社.

岳童，黄希庭. (2016). 共情特质的神经生物学基础. *心理科学进展*, *24*(9), 1368–1376.

赵辉，刘笑，刘宇平，王豆豆，张振，肖玉琴，... 杨波. (2019). 冲动性暴力犯罪人员对不同情绪面孔识别能力的特点. *中国心理卫生杂志*, *33*(3), 214–219.

Adolphs, R., Gosselin, F., Buchanan, T. W., Tranel, D., Schyns, P., & Damasio, A. R. (2005). A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage. *Nature*, *433*(7021), 68–72.

Aggensteiner, P. M., Holz, N. E., Böttinger, B. W., Baumeister, S., Hohmann, S., Werhahn, J. E., ... Brandeis, D. (2022). The effects of callous-unemotional traits and aggression subtypes on amygdala activity in response to negative faces. *Psychological Medicine*, *52*(3), 476–484.

Aghajani, M., Colins, O. F., Klapwijk, E. T., Veer, I. M., Andershed, H., Popma, A., ... Vermeiren, R. R. (2016). Dissociable relations between amygdala subregional networks and psychopathy trait dimensions in conduct-disordered juvenile offenders. *Human Brain Mapping*, *37*(11), 4017–4033.

Aharoni, E., Sinnott-Armstrong, W., & Kiehl, K. A. (2012). Can psychopathic offenders discern moral wrongs? A new look at the moral/conventional distinction. *Journal of Abnormal Psychology*, *121*(2), 484–497.

Aharoni, E., Vincent, G. M., Harenski, C. L., Calhoun, V. D., Sinnott-Armstrong, W., Gazzaniga, M. S., & Kiehl, K. A. (2013). Neuroprediction of future rearrest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(15), 6223–6228.

Anderson, N. E., & Kiehl, K. A. (2012). The psychopath magnetized: Insights from brain imaging. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(1), 52–60.

Andrews, D. A., & Bonta, J. (2010). *The psychology of criminal conduct*. New Providence, NJ: Matthew Bender & Company.

Armstrong, T., Wells, J., Boisvert, D. L., Lewis, R., Cooke, E. M., Woeckener, M., & Kavish, N. (2019). Skin conductance, heart rate and aggressive behavior type. *Biological Psychology*, *141*, 44–51.

Assari, S. (2020). Neighborhood poverty and amygdala response to negative face. *Journal of Economics and Public Finance*, *6*(4), 67–85.

Ax, R. K., Fagan, T. J., Magaletta, P. R., Morgan, R. D., Nussbaum, D., & White, T. W. (2007). Innovations in correctional assessment and treatment. *Criminal Justice and Behavior*, *34*(7), 893–905.

Azevedo, J., Vieira-Coelho, M., Castelo-Branco, M., Coelho, R., & Figueiredo-Braga, M. (2020). Impulsive and premeditated aggression in male offenders with antisocial personality disorder. *PloS One*, *15*(3), e0229876. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229876

Balleine, B. W., & Killcross, S. (2006). Parallel incentive processing: An integrated view of amygdala function. *Trends in Neurosciences*, *29*(5), 272–279.

Bartol, C. R., & Bartol, A. M. (2021). *Criminal behavior: A psychological approach*. Boston: Pearson.

Baskak, N. S., Özateş, M. E., Herdi, O., Sonel, E., Ulusan, A., & Baskak, B. (2019). The relation between functional anatomy of the face and threat perception evoked by facial expression of anger in schizophrenia. *Noro Psikiyatr Ars*, *56*(1), 7–12.

Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A. R., & Lee, G. P. (1999). Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *The Journal of Neuroscience*, *19*(13), 5473–5481.

Belfry, K. D., & Kolla, N. J. (2021). Cold-blooded and on purpose: A review of the biology of proactive aggression. *Brain Sciences*, *11*(11), 1412.

Berends, Y. R., Tulen, J. H. M., Wierdsma, A. I., van Pelt, J., Feldman, R., Zagoory-Sharon, O., ... van Marle, H. J. C. (2019). Intranasal administration of oxytocin decreases task-related aggressive responses in healthy young males. *Psychoneuroendocrinology*, *106*, 147–154.

Berkowitz, L. (1993). *Aggression: Its causes, consequences, and control*. New York: Mcgraw-Hill Book Company.

Bertsch, K., Florange, J., & Herpertz, S. C. (2020). Understanding brain mechanisms of reactive aggression. *Current Psychiatry Reports*, *22*(12), 81.

Bertsch, K., Hillmann, K., & Herpertz, S. C. (2018). Behavioral and neurobiological correlates of disturbed emotion processing in borderline personality disorder. *Psychopathology*, *51*(2), 76–82.

Best, M., Williams, J. M., & Coccaro, E. F. (2002). Evidence for a dysfunctional prefrontal circuit in patients with an impulsive aggressive disorder. *National Academy of Sciences of the United States of America*, *99*(12), 8448–8453.

Beyer, F., Münte, T. F., Göttlich, M., & Krämer, U. M. (2015). Orbitofrontal cortex reactivity to angry facial expression in a social interaction correlates with aggressive behavior. *Cerebral Cortex*, *25*(9), 3057–3063.

Beyer, F., Münte, T. F., Wiechert, J., Heldmann, M., & Krämer, U. M. (2014). Trait aggressiveness is not related to structural connectivity between orbitofrontal cortex and amygdala. *PloS One*, *9*(6), e101105. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101105

Birbaumer, N., Veit, R., Lotze, M., Erb, M., Hermann, C., Grodd, W., & Flor, H. (2005). Deficient fear conditioning in psychopathy: A functional magnetic resonance imaging study. *Archives of General Psychiatry*, *62*(7), 799–805.

Bird, G., & Viding, E. (2014). The self to other model of empathy: Providing a new framework for understanding empathy impairments in psychopathy, autism, and alexithymia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *47*, 520–532.

Blair, R. J. R. (1995). A cognitive developmental approach to morality: Investigating the psychopath. *Cognition*, *57*(1), 1–29.

Blair, R. J. R. (2004). The roles of orbital frontal cortex in the modulation of antisocial behavior. *Brain and Cognition*,

55(1), 198–208.

Blair, R. J. R. (2005). Applying a cognitive neuroscience perspective to the disorder of psychopathy. *Development and Psychopathology*, *17*(3), 865–891.

Blair, R. J. R. (2007). The amygdala and ventromedial prefrontal cortex in morality and psychopathy. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(9), 387–392.

Blair, R. J. R. (2016). The neurobiology of impulsive aggression. *Journal of Child and Adolescent Psychopharmacology*, *26*(1), 4–9.

Blair, R. J. R. (2017). Emotion-based learning systems and the development of morality. *Cognition*, *167*, 38–45.

Blair, R. J. R. (2019). Dysfunctional neurocognition in individuals with clinically significant psychopathic traits. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *21*(3), 291–299.

Blair, R. J. R., Leibenluft, E., & Pine, D. S. (2015). Conduct disorder and callous-unemotional traits in youth. *The New England Journal of Medicine*, *372*(23), 2207–2216.

Blair, R. J. R., & Mitchell, D. G. (2009). Psychopathy, attention and emotion. *Psychological Medicine*, *39*(4), 543–555.

Blair, R. J. R., Mitchell, D. G. V., Leonard, A., Budhani, S., Peschardt, K. S., & Newman, C. (2004). Passive avoidance learning in individuals with psychopathy: Modulation by reward but not by punishment. *Personality and Individual Differences*, *37*(6), 1179–1192.

Blanchard, R. J., Blanchard, D. C., Takahashi, T., & Kelley, M. J. (1977). Attack and defensive behaviour in the albino rat. *Animal Behaviour*, *25*(3), 622–634.

Bobes, M. A., Ostrosky, F., Diaz, K., Romero, C., Borja, K., Santos, Y., & Valdés-Sosa, M. (2013). Linkage of functional and structural anomalies in the left amygdala of reactive-aggressive men. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *8*(8), 928–936.

Boccadoro, S., Wagels, L., Henn, A. T., Hüpen, P., Graben, L., Raine, A., & Neuner, I. (2021). Proactive vs. reactive aggression within two modified versions of the Taylor aggression paradigm. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *15*, 749041.

Boccardi, M., Frisoni, G. B., Hare, R. D., Cavedo, E., Najt, P., Pievani, M., ... Tiihonen, J. (2011). Cortex and amygdala morphology in psychopathy. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, *193*(2), 85–92.

Book, A., Stark, S., MacEachern, J., Forth, A., Visser, B., Wattam, T., ... Roters, J. (2020). In the eye of the beholder: Psychopathy and fear enjoyment. *Journal of Personality*, *88*(6), 1286–1301.

Brugman, S., Lobbestael, J., Arntz, A., Cima, M., Schuhmann, T., Dambacher, F., & Sack, A. T. (2015). Identifying cognitive predictors of reactive and proactive aggression. *Aggressive Behavior*, *41*(1), 51–64.

Buades-Rotger, M., & Krämer, U. M. (2018). From words to action: Implicit attention to antisocial semantic cues predicts aggression and amygdala reactivity to angry faces in healthy young women. *Aggressive Behavior*, *44*(6), 624–637.

Buchanan, T. W., Bibas, D., & Adolphs, R. (2010). Associations between feeling and judging the emotions of happiness and fear: Findings from a large-scale field experiment. *PloS One*, *5*(5), e10640. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010640

Butrus, N. (2019). Psychopathy versus Antisocial Personality Disorder: Implications for the treatment of criminal behaviour. In L. I. Truslow & J. M. Rahmaan (Eds.), *Personality disorders: What we know and future directions for research* (pp. 129–140). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.

Bzdok, D., Laird, A. R., Zilles, K., Fox, P. T., & Eickhoff, S. B. (2013). An investigation of the structural, connectional, and functional subspecialization in the human amygdala. *Human Brain Mapping*, *34*(12), 3247–3266.

Campos, C., Pasion, R., Azeredo, A., Ramião, E., Mazer, P., Macedo, I., & Barbosa, F. (2022). Refining the link between psychopathy, antisocial behavior, and empathy: A meta-analytical approach across different conceptual frameworks. *Clinical Psychology Review*, *94*, 102145.

Camras, L. A. (1977). Facial expressions used by children in a conflict situation. *Child Development*, *48*(4), 1431–1435.

Cannon, W. (1929). Bodily changes in pain, hunger, fear and rage. *Southern Medical Journal*, *38*(4), 527–531.

Cardinale, E. M., Breeden, A. L., Robertson, E. L., Lozier, L. M., Vanmeter, J. W., & Marsh, A. A. (2018). Externalizing behavior severity in youths with callous-unemotional traits corresponds to patterns of amygdala activity and connectivity during judgments of causing fear. *Development and Psychopathology*, *30*(1), 191–201.

Cardinale, E. M., O'Connell, K., Robertson, E. L., Meena, L. B., Breeden, A. L., Lozier, L. M., ... Marsh, A. A. (2019). Callous and uncaring traits are associated with reductions in amygdala volume among youths with varying levels of conduct problems. *Psychological Medicine*, *49*(9), 1449–1458.

Cardinale, E. M., Reber, J., O'Connell, K., Turkeltaub, P. E., Tranel, D., Buchanan, T. W., & Marsh, A. A. (2021). Bilateral amygdala damage linked to impaired ability to predict others' fear but preserved moral judgements about causing others fear. *Proceedings. Biological Sciences*, *288*(1943), 20202651.

Carli, G., & Farabollini, F. (2022). Neural circuits of fear and defensive behavior. *Progress in Brain Research*, *271*(1),

51–69.

Cima, M., Tonnaer, F., & Hauser, M. D. (2010). Psychopaths know right from wrong but don't care. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *5*(1), 59–67.

Coccaro, E. F., McCloskey, M. S., Fitzgerald, D. A., & Phan, K. L. (2007). Amygdala and orbitofrontal reactivity to social threat in individuals with impulsive aggression. *Biological Psychiatry*, *62*(2), 168–178.

Coker-Appiah, D. S., White, S. F., Clanton, R., Yang, J., & Blair, R. J. R. (2013). Looming animate and inanimate threats: The response of the amygdala and periaqueductal gray. *Social Neuroscience*, *8*(6), 621–630.

Corradi-Dell'Acqua, C., Civai, C., Rumiati, R. I., & Fink, G. R. (2013). Disentangling self- and fairness-related neural mechanisms involved in the ultimatum game: An fMRI study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *8*(4), 424–431.

Cupaioli, F. A., Zucca, F. A., Caporale, C., Lesch, K. P., Passamonti, L., & Zecca, L. (2021). The neurobiology of human aggressive behavior: Neuroimaging, genetic, and neurochemical aspects. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, *106*, 110059.

da Cunha-Bang, S., Fisher, P. M., Hjordt, L. V., Perfalk, E., Persson Skibsted, A., Bock, C., ... Knudsen, G. M. (2017). Violent offenders respond to provocations with high amygdala and striatal reactivity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *12*(5), 802–810.

Darby, R. R., Horn, A., Cushman, F., & Fox, M. D. (2018). Lesion network localization of criminal behavior. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(3), 601–606.

Dargis, M., Wolf, R. C., & Koenigs, M. (2018). Psychopathic traits are associated with reduced fixations to the eye region of fearful faces. *Journal of abnormal psychology*, *127*(1), 43–50.

Davidson, R. J., Putnam, K. M., & Larson, C. L. (2000). Dysfunction in the neural circuitry of emotion regulation--A possible prelude to violence. *Science*, *289*(5479), 591–594.

Decety, J. (2020). The contribution of forensic neuroscience to psychopathy. *Encephale*, *46*(4), 301–307.

de Jong, T. R., & Neumann, I. D. (2018). Oxytocin and aggression. *Current Topics in Behavioral Neurosciences*, *35*, 175–192.

Demetriou, C. A., & Fanti, K. A. (2022). Are children high on callous-unemotional traits emotionally blind? Testing eye-gaze differences. *Child Psychiatry and Human Development*, *53*(4), 623–634.

Dolan, M. C., & Fullam, R. S. (2009). Psychopathy and functional magnetic resonance imaging blood oxygenation level-dependent responses to emotional faces in violent patients with schizophrenia. *Biological Psychiatry*, *66*(6), 570–577.

Dong, N., Du, P., Hao, X., He, Z., Hou, W., Wang, L., ... Tai, F. (2017). Involvement of $GABA_A$ receptors in the regulation of social preference and emotional behaviors by oxytocin in the central amygdala of female mandarin voles. *Neuropeptides*, *66*, 8–17.

Dotterer, H. L., Hyde, L. W., Swartz, J. R., Hariri, A. R., & Williamson, D. E. (2017). Amygdala reactivity predicts adolescent antisocial behavior but not callous-unemotional traits. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *24*, 84–92.

Dougherty, D. D. (2018). Deep brain stimulation: Clinical applications. *Psychiatric Clinics of North America*, *41*(3), 385–394.

Dugré, J. R., Radua, J., Carignan-Allard, M., Dumais, A., Rubia, K., & Potvin, S. (2020). Neurofunctional abnormalities in antisocial spectrum: A meta-analysis of fMRI studies on five distinct neurocognitive research domains. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *119*, 168–183.

Dvorak-Bertsch, J. D., Curtin, J. J., Rubinstein, T. J., & Newman, J. P. (2009). Psychopathic traits moderate the interaction between cognitive and affective processing. *Psychophysiology*, *46*(5), 913–921.

Dyck, M., Loughead, J., Kellermann, T., Boers, F., Gur, R. C., & Mathiak, K. (2011). Cognitive versus automatic mechanisms of mood induction differentially activate left and right amygdala. *Neuroimage*, *54*(3), 2503–2513.

Eibl-Eibesfeldt, I. (1970). *Ethology: The biology of behavior*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Ermer, E., Cope, L. M., Nyalakanti, P. K., Calhoun, V. D., & Kiehl, K. A. (2012). Aberrant paralimbic gray matter in criminal psychopathy. *Journal of Abnormal Psychology*, *121*(3), 649–658.

Esteban Masferrer, M., Silva, B. A., Nomoto, K., Lima, S. Q., & Gross, C. T. (2020). Differential encoding of predator fear in the ventromedial hypothalamus and periaqueductal grey. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *40*(48), 9283–9292.

Ewbank, M. P., Passamonti, L., Hagan, C. C., Goodyer, I. M., Calder, A. J., & Fairchild, G. (2018). Psychopathic traits influence amygdala-anterior cingulate cortex connectivity during facial emotion processing. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *13*(5), 525–534.

Fairchild, G., Passamonti, L., Hurford, G., Hagan, C. C., & Calder, A. J. (2011). Brain structure abnormalities in early-onset and adolescent-onset conduct disorder. *The American Journal of Psychiatry*, *168*(6), 624–633.

Farah, T., Ling, S., Raine, A., Yang, Y., & Schug, R. (2018). Alexithymia and reactive aggression: The role of the amygdala. *Psychiatry research: Neuroimaging*, *281*, 85–91.

Feldman, S., & Weidenfeld, J. (1998). The excitatory effects of the amygdala on hypothalamo-pituitary-adrenocortical responses are mediated by hypothalamic norepinephrine, serotonin, and CRF-41. *Brain Research Bulletin*, *45*(4), 389–393.

Feshbach, S. (1964). The function of aggression and the regulation of aggressive drive. *Psychological Review*, *71*(4), 257–272.

Finger, E. C., Marsh, A. A., Blair, K. S., Reid, M. E., Sims, C., Ng, P., ... Blair, R. J. (2011). Disrupted reinforcement signaling in the orbitofrontal cortex and caudate in youths with conduct disorder or oppositional defiant disorder and a high level of psychopathic traits. *The American Journal of Psychiatry*, *168*(2), 152–162.

Fitzgerald, J. M., DiGangi, J. A., & Phan, K. L. (2018). Functional neuroanatomy of emotion and its regulation in PTSD. *Harvard Review of Psychiatry*, *26*(3), 116–128.

Fossati, A., Somma, A., Pincus, A., Borroni, S., & Dowgwillo, E. A. (2017). Differentiating community dwellers at risk for pathological narcissism from community dwellers at risk for psychopathy using measures of emotion recognition and subjective emotional activation. *Journal of Personality Disorders*, *31*(3), 325–345.

Freese, J. L., & Amaral, D. G. (2009). Neuroanatomy of the primate amygdala. In P. J. Whalen & E. A. Phelps (Eds.), *The human amygdala* (pp. 3–42). New York: Guilford Press.

Frick, P. J., Cornell, A. H., Bodin, S. D., Dane, H. E., Barry, C. T., & Loney, B. R. (2003). Callous-unemotional traits and developmental pathways to severe conduct problems. *Developmental Psychology*, *39*(2), 246–260.

Fulwiler, C. E., King, J. A., & Zhang, N. (2012). Amygdala-orbitofrontal resting state functional connectivity is associated with trait anger. *Neuroreport*, *23*(10), 606–610.

Fusar-Poli, P., Placentino, A., Carletti, F., Landi, P., Allen, P., Surguladze, S., ... Politi, P. (2009). Functional atlas of emotional faces processing: A voxel-based meta-analysis of 105 functional magnetic resonance imaging studies. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, *34*(6), 418–432.

Gao, Y., Baker, L. A., Raine, A., Wu, H., & Bezdjian, S. (2009). Brief Report: Interaction between social class and risky decision-making in children with psychopathic tendencies. *Journal of Adolescence*, *32*(2), 409–414.

Ghashghaei, H. T., & Barbas, H. (2002). Pathways for emotion: Interactions of prefrontal and anterior temporal pathways in the amygdala of the rhesus monkey. *Neuroscience*, *115*(4), 1261–1279.

Gillespie, S. M., Rotshtein, P., Beech, A. R., & Mitchell, I. J. (2017). Boldness psychopathic traits predict reduced gaze toward fearful eyes in men with a history of violence. *Biological Psychology*, *128*, 29–38.

Gillespie, S. M., Rotshtein, P., Chapman, H., Brown, E., Beech, A. R., & Mitchell, I. J. (2019). Pupil reactivity to emotional faces among convicted violent offenders: The role of psychopathic traits. *Journal of Abnormal Psychology*, *128*(6), 622–632.

Glass, S. J., & Newman, J. P. (2006). Recognition of facial affect in psychopathic offenders. *Journal of Abnormal Psychology*, *115*(4), 815–820.

Glimmerveen, J. C., Maes, J. H. R., Bulten, E., Scheper, I., & Brazil, I. A. (2022). So what'cha want? The impact of individualised rewards on associative learning in psychopathic offenders. *Cortex*, *149*, 44–58.

Gopal, A., Clark, E., Allgair, A., D'Amato, C., Furman, M., Gansler, D. A., & Fulwiler, C. (2013). Dorsal/ventral parcellation of the amygdala: Relevance to impulsivity and aggression. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, *211*(1), 24–30.

Gosselin, N., Peretz, I., Johnsen, E., & Adolphs, R. (2007). Amygdala damage impairs emotion recognition from music. *Neuropsychologia*, *45*(2), 236–244.

Gouveia, F. V., Hamani, C., Fonoff, E. T., Brentani, H., Alho, E. J. L., de Morais, R., ... Martinez, R. C. R. (2019). Amygdala and hypothalamus: Historical overview with focus on aggression. *Neurosurgery*, *85*(1), 11–30.

Grabenhorst, F., & Rolls, E. T. (2011). Value, pleasure and choice in the ventral prefrontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(2), 56–67.

Gray, J. A. (1987). *The psychology of fear and stress*. Lndon: Cambridge University Press.

Harenski, C. L., Kim, S. H., & Hamann, S. (2009). Neuroticism and psychopathy predict brain activation during moral and nonmoral emotion regulation. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *9*(1), 1–15.

Hartmann, D., & Schwenck, C. (2020). Emotion processing in children with conduct problems and callous-unemotional traits: An investigation of speed, accuracy, and attention. *Child Psychiatry and Human Development*, *51*(5), 721–733.

He, T., An, L., Chen, P., Chen, J., Feng, J., Bzdok, D., ... Yeo, B. T. T. (2022). Meta-matching as a simple framework to translate phenotypic predictive models from big to small data. *Nature Neuroscience*, *25*(6), 795–804.

Herbeck, Y. E., & Gulevich, R. G. (2019). Neuropeptides as facilitators of domestication. *Cell and Tissue Research*, *375*(1), 295–307.

Herpers, P. C., Scheepers, F. E., Bons, D. M., Buitelaar, J. K., & Rommelse, N. N. (2014). The cognitive and neural correlates of psychopathy and especially callous-unemotional traits in youths: A systematic review of the evidence. *Development and Psychopathology*, *26*(1), 245–273.

Hofmann, M. J., Schneider, S., & Mokros, A. (2021). Fearless but anxious? A systematic review on the utility of fear and anxiety levels to classify subtypes of psychopathy. *Behavioral Sciences and the Law*, *39*(5), 512–540.

Hoptman, M. J., D'Angelo, D., Catalano, D., Mauro, C. J., Shehzad, Z. E., Kelly, A. C., ... Milham, M. P. (2009). Amygdalofrontal functional disconnectivity and aggression in schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, *36*(5), 1020–1028.

Hyde, L. W., Byrd, A. L., Votruba-Drzal, E., Hariri, A. R., & Manuck, S. B. (2014). Amygdala reactivity and negative emotionality: Divergent correlates of antisocial personality and psychopathy traits in a community sample. *Journal of Abnormal Psychology*, *123*(1), 214–224.

Jeon, Y., Lim, Y., Yeom, J., & Kim, E. K. (2021). Comparative metabolic profiling of posterior parietal cortex, amygdala, and hippocampus in conditioned fear memory. *Molecular Brain*, *14*(1), 153.

Jiang, Y., Gao, Y., Dong, D., Sun, X., Situ, W., & Yao, S. (2021). Structural abnormalities in adolescents with conduct disorder and high versus low callous unemotional traits. *European Child & Adolescent Psychiatry*, *32*(1), 193–203.

Johanson, M., Vaurio, O., Tiihonen, J., & Lähteenvuo, M. (2020). A systematic literature review of neuroimaging of psychopathic traits. *Frontiers in Psychiatry*, *10*, 1027.

John, Y. J., Bullock, D., Zikopoulos, B., & Barbas, H. (2013). Anatomy and computational modeling of networks underlying cognitive-emotional interaction. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 101.

Jones, A. P., Happé, F. G., Gilbert, F., Burnett, S., & Viding, E. (2010). Feeling, caring, knowing: Different types of empathy deficit in boys with psychopathic tendencies and autism spectrum disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *51*(11), 1188–1197.

Kimonis, E. R., Frick, P. J., Fazekas, H., & Loney, B. R. (2006). Psychopathy, aggression, and the processing of emotional stimuli in non-referred girls and boys. *Behavioral Sciences and the Law*, *24*(1), 21–37.

Kolla, N. J., Malcolm, C., Attard, S., Arenovich, T., Blackwood, N., & Hodgins, S. (2013). Childhood maltreatment and aggressive behaviour in violent offenders with psychopathy. *Canadian Journal of Psychiatry*, *58*(8), 487–494.

Kozhuharova, P., Dickson, H., Tully, J., & Blackwood, N. (2019). Impaired processing of threat in psychopathy: A systematic review and meta-analysis of factorial data in male offender populations. *PloS One*, *14*(10), e0224455. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224455

LeDoux, J. E. (2003). The emotional brain, fear, and the amygdala. *Cellular and Molecular Neurobiology*, *23*(4–5), 727–738.

Lefaucheur, J. P., Aleman, A., Baeken, C., Benninger, D. H., Brunelin, J., Di Lazzaro, V., ... Ziemann, U. (2020). Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018). *Clinical Neurophysiology*, *131*(2), 474–528.

Levantini, V., Muratori, P., Calderoni, S., Inguaggiato, E., Masi, G., Milone, A., ... Billeci, L. (2022). Psychopathic traits and emotion processing in a clinical sample of children with disruptive behavior disorder. *Current Psychology*, (4), 1–10.

Li, S., Ding, D., Wu, Z., Yi, L., Lai, J., & Dang, L. (2020). Do high psychopaths care more about moral consequences than low psychopaths in Chinese culture? An exploration using the CNI model. *Healthcare*, *8*(4), 505.

Lilienfeld, S. O., Patrick, C. J., Benning, S. D., Berg, J., Sellbom, M., & Edens, J. F. (2012). The role of fearless dominance in psychopathy: Confusions, controversies, and clarifications. *Personality Disorders: Theory, Research, and Treatment*, *3*(3), 327–340.

Lin, D., Boyle, M. P., Dollar, P., Lee, H., Lein, E., Perona, P., & Anderson, D. J. (2011). Functional identification of an aggression locus in the mouse hypothalamus. *Nature*, *470*(7333), 221–226.

Lindström, B., Haaker, J., & Olsson, A. (2018). A common neural network differentially mediates direct and social fear learning. *Neuroimage*, *167*, 121–129.

Lobbestael, J., & Cima, M. J. (2021). Virtual reality for aggression assessment: The development and preliminary results of two virtual reality tasks to assess reactive and proactive aggression in males. *Brain Sciences*, *11*(12), 1653.

López, R., Poy, R., Patrick, C. J., & Moltó, J. (2013). Deficient fear conditioning and self-reported psychopathy: The role of fearless dominance. *Psychophysiology*, *50*(2), 210–218.

Lozier, L. M., Cardinale, E. M., VanMeter, J. W., & Marsh, A. A. (2014). Mediation of the relationship between callous-unemotional traits and proactive aggression by amygdala response to fear among children with conduct problems. *JAMA Psychiatry*, *71*(6), 627–636.

Lykken, D. T. (1957). A study of anxiety in the sociopathic personality. *Journal of Abnormal and Social Psychology*,

55(1), 6–10.

Lynam, D. R. (1997). Pursuing the psychopath: Capturing the fledgling psychopath in a nomological net. *Journal of Abnormal Psychology*, *106*(3), 425–438.

Madaboosi, S., Grasser, L. R., Chowdury, A., & Javanbakht, A. (2021). Neurocircuitry of contingency awareness in Pavlovian fear conditioning. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *21*(5), 1039–1053.

Marsh, A. A. (2016). Understanding amygdala responsiveness to fearful expressions through the lens of psychopathy and altruism. *Journal of Neuroscience Research*, *94*(6), 513–525.

Marsh, A. A., & Cardinale, E. M. (2014). When psychopathy impairs moral judgments: Neural responses during judgments about causing fear. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *9*(1), 3–11.

Marsh, A. A., Finger, E. C., Fowler, K. A., Adalio, C. J., Jurkowitz, I. T. N., Schechter, J. C., ... Blair, R. J. R. (2013). Empathic responsiveness in amygdala and anterior cingulate cortex in youths with psychopathic traits. *Journal of Child Psychology & Psychiatry*, *54*(8), 900–910.

Marsh, A. A., Finger, E. C., Fowler, K. A., Jurkowitz, I. T. N., Schechter, J. C., Yu, H. H., ... Blair, R. J. R. (2011). Reduced amygdala-orbitofrontal connectivity during moral judgments in youths with disruptive behavior disorders and psychopathic traits. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, *194*(3), 279–286.

Marsh, A. A., Finger, E. C., Mitchell, D. G., Reid, M. E., Sims, C., Kosson, D. S., ... Blair, R. J. (2008). Reduced amygdala response to fearful expressions in children and adolescents with callous-unemotional traits and disruptive behavior disorders. *The American Journal of Psychiatry*, *165*(6), 712–720.

Marsh, A. A., Finger, E. C., Schechter, J. C., Jurkowitz, I. T., Reid, M. E., & Blair, R. J. (2011). Adolescents with psychopathic traits report reductions in physiological responses to fear. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 52*(8), 834–841.

Martens, A., Kosloff, S., Greenberg, J., Landau, M. J., & Schmader, T. (2007). Killing begets killing: evidence from a bug-killing paradigm that initial killing fuels subsequent killing. *Personality & Social Psychology Bulletin*, *33*(9), 1251–1264.

Martin-Key, N., Brown, T., & Fairchild, G. (2017). Empathic accuracy in male adolescents with conduct disorder and higher versus lower levels of callous-unemotional traits. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *45*(7), 1385–1397.

Matthies, S., Rüsch, N., Weber, M., Lieb, K., Philipsen, A., Tuescher, O., ... van Elst, L. T. (2012). Small amygdala-high aggression? The role of the amygdala in modulating aggression in healthy subjects. *The World Journal of Biological Psychiatry*, *13*(1), 75–81.

Mccloskey, M. S., Phan, K. L., Angstadt, M., Fettich, K. C., Keedy, S., & Coccaro, E. F. (2016). Amygdala hyperactivation to angry faces in intermittent explosive disorder. *Journal of Psychiatric Research*, *79*, 34–41.

Meffert, H., Thornton, L. C., Tyler, P. M., Botkin, M. L., Erway, A. K., Kolli, V., ... Blair, R. J. R. (2018). Moderation of prior exposure to trauma on the inverse relationship between callous-unemotional traits and amygdala responses to fearful expressions: An exploratory study. *Psychological Medicine*, *48*(15), 2541–2549.

Mendez, M. F. (2006). What frontotemporal dementia reveals about the neurobiological basis of morality. *Medical Hypotheses*, *67*(2), 411–418.

Mertens, G., Krypotos, A. M., & Engelhard, I. M. (2020). A review on mental imagery in fear conditioning research 100 years since the 'Little Albert' study. *Behaviour Research and Therapy*, *126*, 103556.

Merz, E. C., Tottenham, N., & Noble, K. G. (2018). Socioeconomic status, amygdala volume, and internalizing symptoms in children and adolescents. *Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology*, *47*(2), 312–323.

Mieth, L., Buchner, A., & Bell, R. (2021). Moral labels increase cooperation and costly punishment in a Prisoner's Dilemma game with punishment option. *Scientific Reports*, *11*(1), 10221.

Milone, A., Cerniglia, L., Cristofani, C., Inguaggiato, E., Levantini, V., Masi, G., ... Muratori, P. (2019). Empathy in youths with conduct disorder and callous-unemotional traits. *Neural Plasticity*, *2019*, 9638973.

Mobbs, D., Yu, R., Rowe, J. B., Eich, H., FeldmanHall, O., & Dalgleish, T. (2010). Neural activity associated with monitoring the oscillating threat value of a tarantula. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*(47), 20582–20586.

Moffitt, T. E. (1993). Adolescence-limited and life-course-persistent antisocial behavior: A developmental taxonomy. *Psychological Review*, *100*(4), 674–701.

Moore, A. A., Rappaport, L. M., Blair, R. J., Pine, D. S., Leibenluft, E., Brotman, M. A., ... Roberson-Nay, R. (2019). Genetic underpinnings of callous-unemotional traits and emotion recognition in children, adolescents, and emerging adults. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *60*(6), 638–645.

Motzkin, J. C., Newman, J. P., Kiehl, K. A., & Koenigs, M. (2011). Reduced prefrontal connectivity in psychopathy. *The Journal of Neuroscience*, *31*(48), 17348–17357.

Nelson, R. J., & Trainor, B. C. (2007). Neural mechanisms of

aggression. *Nature Reviews*, *8*(7), 536–546.

New, A. S., Hazlett, E. A., Newmark, R. E., Zhang, J., Triebwasser, J., Meyerson, D., ... Buchsbaum, M. S. (2009). Laboratory induced aggression: A positron emission tomography study of aggressive individuals with borderline personality disorder. *Biological Psychiatry*, *66*(12), 1107–1114.

Norman, L., Lawrence, N., Iles, A., Benattayallah, A., & Karl, A. (2015). Attachment-security priming attenuates amygdala activation to social and linguistic threat. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *10*(6), 832–839.

Northam, J. C., Kurukulasuriya, N., Hunt, C., & Hawes, D. J. (2022). Moral reasoning, emotion understanding, and callous - unemotional traits in early - to - middle childhood. *British Journal of Developmental Psychology*, *40*(2), 306–319.

Osumi, T. (2019). Mediating role of attenuated physiological arousal on the association between psychopathic traits and fairness norm violation. *Scientific Reports*, *9*(1), 18053.

Osumi, T., Nakao, T., Kasuya, Y., Shinoda, J., Yamada, J., & Ohira, H. (2012). Amygdala dysfunction attenuates frustration-induced aggression in psychopathic individuals in a non-criminal population. *Journal of Affective Disorders*, *142*(1–3), 331–338.

Owens, E. S., McPharlin, F. W. H., Brooks, N., & Fritzon, K. (2018). The effects of empathy, emotional intelligence and psychopathy on interpersonal interactions. *Psychiatry, Psychology and Law*, *25*(1), 1–18.

Pardini, D. A., & Phillips, M. (2010). Neural responses to emotional and neutral facial expressions in chronically violent men. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, *35*(6), 390–398.

Pardini, D. A., Raine, A., Erickson, K., & Loeber, R. (2014). Lower amygdala volume in men is associated with childhood aggression, early psychopathic traits, and future violence. *Biological Psychiatry*, *75*(1), 73–80.

Patrick, C. J. (1994). Emotion and psychopathy: Startling new insights. *Psychophysiology*, *31*(4), 319–330.

Pearson, J. M., Heilbronner, S. R., Barack, D. L., Hayden, B. Y., & Platt, M. L. (2011). Posterior cingulate cortex: Adapting behavior to a changing world. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(4), 143–151.

Petitclerc, A., Henry, J., Feng, B., Poliakova, N., Brendgen, M., Dionne, G., ... Boivin, M. (2019). Genetic correlation between child callous-unemotional behaviors and fear recognition deficit: Evidence for a neurocognitive endophenotype. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *47*(9), 1483–1493.

Philipp-Wiegmann, F., Rösler, M., Retz-Junginger, P., & Retz, W. (2017). Emotional facial recognition in proactive and reactive violent offenders. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, *267*(7), 687–695.

Raine, A. (2018). Antisocial personality as a neurodevelopmental disorder. *Annual Review of Clinical Psychology*, *14*, 259–289.

Raine, A. (2019). The neuromoral theory of antisocial, violent, and psychopathic behavior. *Psychiatry Research*, *277*, 64–69.

Raine, A., & Yang, Y. (2006). Neural foundations to moral reasoning and antisocial behavior. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *1*(3), 203–213.

Reggente, N., Essoe, J. K., Aghajan, Z. M., Tavakoli, A. V., McGuire, J. F., Suthana, N. A., & Rissman, J. (2018). Enhancing the ecological validity of fMRI memory research using virtual reality. *Frontiers in Neuroscience*, *12*, 408.

Rehder, P. D., Mills-Koonce, W. R., Willoughby, M. T., Garrett-Peters, P., & Wagner, N. J. (2017). Emotion recognition deficits among children with conduct problems and callous-unemotional behaviors. *Early childhood research quarterly*, *41*, 174–183.

Reisel, D. (2015). Towards a neuroscience of morality. In T. Gavrielides (Ed.), *The psychology of restorative justice: Managing the power within* (pp. 49–63). London: Taylor & Francis Ltd.

Rijnders, R. J. P., Terburg, D., Bos, P. A., Kempes, M. M., & van Honk, J. (2021). Unzipping empathy in psychopathy: Empathy and facial affect processing in psychopaths. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *131*, 1116–1126.

Roddy, D., Kelly, J., Farrell, C., Doolin, K., Roman, E., Nasa, A., ... O'Keane, V. (2021). Amygdala substructure volumes in Major Depressive Disorder. *NeuroImage: Clinical*, *31*, 102781.

Roesch, M. R., Singh, T., Brown, P. L., Mullins, S. E., & Schoenbaum, G. (2009). Ventral striatal neurons encode the value of the chosen action in rats deciding between differently delayed or sized rewards. *The Journal of Neuroscience*, *29*(42), 13365–13376.

Rogers, J. C., & de Brito, S. A. (2016). Cortical and subcortical gray matter volume in youths with conduct problems: A meta-analysis. *JAMA Psychiatry*, *73*(1), 64–72.

Rosell, D. R., & Siever, L. J. (2015). The neurobiology of aggression and violence. *CNS Spectrums*, *20*(3), 254–279.

Rothemund, Y., Ziegler, S., Hermann, C., Gruesser, S. M., Foell, J., Patrick, C. J., & Flor, H. (2012). Fear conditioning in psychopaths: Event-related potentials and peripheral measures. *Biological Psychology*, *90*(1), 50–59.

Roy, A. K., Shehzad, Z., Margulies, D. S., Kelly, A. M. C.,

Uddin, L. Q., Gotimer, K., ... Milham, M. P. (2009). Functional connectivity of the human amygdala using resting state fMRI. *Neuroimage*, *45*(2), 614–626.

Sah, P., Faber, E. L., de Armentia, M. L., & Power, J. (2003). The amygdaloid complex: Anatomy and physiology. *Physiological Reviews*, *83*(3), 803–834.

Saladino, V., Lin, H., Zamparelli, E., & Verrastro, V. (2021). Neuroscience, empathy, and violent crime in an incarcerated population: A narrative review. *Frontiers in Psychology*, *12*, 694212.

Sarica, C., Nankoo, J. F., Fomenko, A., Grippe, T. C., Yamamoto, K., Samuel, N., ... Chen, R. (2022). Human studies of transcranial ultrasound neuromodulation: A systematic review of effectiveness and safety. *Brain Stimulation*, *15*(3), 737–746.

Sauer, C., Montag, C., Reuter, M., & Kirsch, P. (2019). Oxytocinergic modulation of brain activation to cues related to reproduction and attachment: Differences and commonalities during the perception of erotic and fearful social scenes. *International Journal of Psychophysiology*, *136*, 87–96.

Scheeff, J., Schneidt, A., & Schönenberg, M. (2021). Does attentional focus modulate affective information processing in male violent offenders with psychopathic traits? *Journal of Neuroscience Research*, *99*(11), 2763–2773.

Schiffer, B., Pawliczek, C., Müller, B. W., Wiltfang, J., Brüne, M., Forsting, M., ... Hodgins, S. (2017). Neural mechanisms underlying affective theory of mind in violent antisocial personality disorder and/or schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, *43*(6), 1229–1239.

Schoenbaum, G., Chiba, A. A., & Gallagher, M. (2000). Changes in functional connectivity in orbitofrontal cortex and basolateral amygdala during learning and reversal training. *The Journal of Neuroscience*, *20*(13), 5179–5189.

Schoenbaum, G., & Roesch, M. (2005). Orbitofrontal cortex, associative learning, and expectancies. *Neuron*, *47*(5), 633–636.

Seara-Cardoso, A., Sebastian, C. L., Viding, E., & Roiser, J. P. (2016). Affective resonance in response to others' emotional faces varies with affective ratings and psychopathic traits in amygdala and anterior insula. *Social Neuroscience*, *11*(2), 140–152.

Serin, R., Forth, A., Brown, S., Nunes, K., Bennell, C., & Pozzulo, J. (2011). *Psychology of Criminal Behaviour: A Canadian Perspective*(2nd ed.). Don Mills, Toronto: Pearson Canada.

Šimić, G., Tkalčić, M., Vukić, V., Mulc, D., Španić, E., Šagud, M., … Hof, P. R. (2021). Understanding emotions: Origins and roles of the amygdala. *Biomolecules*, *11*(6), 823.

Skibsted, A. P., Cunha-Bang, S. D., Carré, J. M., Hansen, A. E., Beliveau, V., Knudsen, G. M., & Fisher, P. M. (2017). Aggression-related brain function assessed with the Point Subtraction Aggression Paradigm in fMRI. *Aggressive Behavior*, *43*(6), 601–610.

Song, M.-J., Smetana, J., & Kim, S. Y. (1987). Korean children's conceptions of moral and conventional transgressions. *Developmental Psychology*, *23*(4), 577–582.

Sprengelmeyer, R., Young, A. W., Schroeder, U., Grossenbacher, P. G., Federlein, J., Büttner, T., & Przuntek, H. (1999). Knowing no fear. *Proceedings. Biological Sciences*, *266*(1437), 2451–2456.

Steinberg, L. (2010). A dual systems model of adolescent risk-taking. *Developmental Psychobiology*, *52*(3), 216–224.

Tanaś, Ł., & Łuczak, E. (2021). Psychopathic traits and empathy: Moral decision making and complex affect expression recognition. *Psychiatria Polska*, *55*(6), 1235–1255.

Terburg, D., Morgan, B. E., Montoya, E. R., Hooge, I. T., Thornton, H. B., Hariri, A. R., ... van Honk, J. (2012). Hypervigilance for fear after basolateral amygdala damage in humans. *Translational Psychiatry*, *2*(5), e115. https://doi.org/10.1038/tp.2012.46

Thomson, N. D., Aboutanos, M., Kiehl, K. A., Neumann, C., Galusha, C., & Fanti, K. A. (2019). Physiological reactivity in response to a fear-induced virtual reality experience: Associations with psychopathic traits. *Psychophysiology*, *56*(1), e13276. https://doi.org/10.1111/psyp.13276

Timbie, C., & Barbas, H. (2014). Specialized pathways from the primate amygdala to posterior orbitofrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, *34*(24), 8106–8118.

Urben, S., Habersaat, S., Pihet, S., Suter, M., de Ridder, J., & Stéphan, P. (2018). Specific contributions of age of onset, callous-unemotional traits and impulsivity to reactive and proactive aggression in youths with conduct disorders. *Psychiatric Quarterly*, *89*(1), 1–10.

Vaidyanathan, U., Hall, J. R., Patrick, C. J., & Bernat, E. M. (2011). Clarifying the role of defensive reactivity deficits in psychopathy and antisocial personality using startle reflex methodology. *Journal of Abnormal Psychology*, *120*(1), 253–258.

Vasconcelos, M., Viding, E., Sebastian, C. L., Faria, S., Almeida, P. R., Gonçalves, Ó, F., ... Seara-Cardoso, A. (2021). Callous-unemotional traits moderate anticipated guilt and wrongness judgments to everyday moral transgressions in adolescents. *Frontiers in Psychiatry*, *12*, 625328.

Viding, E., Sebastian, C. L., Dadds, M. R., Lockwood, P. L.,

Cecil, C. A. M., de Brito, S. A., & McCrory, E. J. (2012). Amygdala response to preattentive masked fear in children with conduct problems: The role of callous-unemotional traits. *The American Journal of Psychiatry*, *169*(10), 1109–1116.

Vieira, J. B., Almeida, P. R., Ferreira-Santos, F., Barbosa, F., Marques-Teixeira, J., & Marsh, A. A. (2014). Distinct neural activation patterns underlie economic decisions in high and low psychopathy scorers. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *9*(8), 1099–1107.

von Borries, A. K., Volman, I., de Bruijn, E. R., Bulten, B. H., Verkes, R. J., & Roelofs, K. (2012). Psychopaths lack the automatic avoidance of social threat: Relation to instrumental aggression. *Psychiatry Research*, *200*(2–3), 761–766.

von Polier, G. G., Greimel, E., Konrad, K., Großheinrich, N., Kohls, G., Vloet, T. D., ... Schulte-Rüther, M. (2020). Neural correlates of empathy in boys with early onset conduct disorder. *Frontiers in Psychiatry*, *11*, 178.

Waller, R., Wagner, N. J., Barstead, M. G., Subar, A., Petersen, J. L., Hyde, J. S., & Hyde, L. W. (2020). A meta-analysis of the associations between callous-unemotional traits and empathy, prosociality, and guilt. *Clinical Psychology Review*, *75*, 101809.

White, S. F., Pope, K., Sinclair, S., Fowler, K. A., Brislin, S. J., Williams, W. C., ... Blair, R. J. (2013). Disrupted expected value and prediction error signaling in youths with disruptive behavior disorders during a passive avoidance task. *The American Journal of Psychiatry*, *170*(3), 315–323.

Xu, P., Peng, S., Luo, Y. J., & Gong, G. (2021). Facial expression recognition: A meta-analytic review of theoretical models and neuroimaging evidence. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *127*, 820–836.

Yang, Y., Liu, D. Q., Huang, W., Deng, J., Sun, Y., Zuo, Y., & Poo, M. M. (2016). Selective synaptic remodeling of amygdalocortical connections associated with fear memory. *Nature Neuroscience*, *19*(10), 1348–1355.

Yang, Y., Raine, A., Colletti, P., Toga, A. W., & Narr, K. L. (2010). Morphological alterations in the prefrontal cortex and the amygdala in unsuccessful psychopaths. *Journal of Abnormal Psychology*, *119*(3), 546–554.

Yavari, F., Jamil, A., Mosayebi Samani, M., Vidor, L. P., & Nitsche, M. A. (2018). Basic and functional effects of transcranial Electrical Stimulation (tES)-An introduction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *85*, 81–92.

Yoder, K. J., Harenski, C., Kiehl, K. A., & Decety, J. (2015). Neural networks underlying implicit and explicit moral evaluations in psychopathy. *Translational Psychiatry*, *5*(8), e625. https://doi.org/10.1038/tp.2015.117

Yoder, K. J., Lahey, B. B., & Decety, J. (2016). Callous traits in children with and without conduct problems predict reduced connectivity when viewing harm to others. *Scientific Reports*, *6*, 20216.

Yu, R., Mobbs, D., Seymour, B., Rowe, J. B., & Calder, A. J. (2014). The neural signature of escalating frustration in humans. *Cortex*, *54*, 165–178.

Zhang, R., Bashford-Largo, J., Lukoff, J., Elowsky, J., Carollo, E., Schwartz, A., ... Blair, R. J. R. (2021). Callous-unemotional traits moderate the relationship between irritability and threatening responding. *Frontiers in Psychiatry*, *12*, 617052.

The "cold and hot" amygdala: An important nucleus relative to aggression

ZHAO Hui, ZHANG Yaran, XIAO Yuqin, ZHANG Zhuo, YANG Bo

(*School of Sociology, China University of Political Science and Law, Beijing* 102249, *China*)

Abstract: Aggression can be defined as any behavior directed toward another with the intent to cause direct harm. It can be divided into reactive aggression and proactive aggression. Aggression has an underlying neurophysiological basis. As a key region of emotion processing and learning, the amygdala is closely associated with aggression. The fight-flight mechanism, the violence inhibition mechanism and the fear dysfunction hypothesis emphasize the importance of the amygdala for aggression. Structural deficits and dysfunctions of the amygdala have been observed in individuals who display aggressive or violent behaviors, with two different abnormal manifestations. In groups with high risk of reactive aggression, the amygdala's response to threatening stimuli is enhanced (a "hot" response). However, in proactive aggression, exhibited by individuals with psychopathic and callous-unemotional traits, researches have reported diminished

amygdala responses to threatening stimuli and others' distress cues as well as insufficient activation of the amygdala during fear conditioning learning and moral decision-making (a "cold" response). These dysfunctions might impair the normal function of individuals in terms of threat response, empathy, punishment avoidance and moral decision-making. Future research should focus on both population and processes, give more attention to the functions of the amygdala's substructures, explore the neural network associated with aggression, and investigate effective interventions to prevent violence.

Keywords: amygdala, reactive aggression, proactive aggression, psychopathy